

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

LIBEREC 2011

ALEŠ ŠAMAN

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ



Studijní program: B3107 Textil

Studijní obor: 3106-T004 Netkané textilie

PARAMETRY KMITAJÍCÍCH TENKÝCH MEMBRÁN A JEJICH VLIV NA ZVUKOVĚ POHLTIVÉ VLASTNOSTI

PARAMETRS OF THIN VIBRANT MEMBRANES AND THEM INFLUENCE TO SOUND ABSORPTION PROPERTIES

Autor bakalářské práce: Aleš Šaman

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Klára Kalinová, Ph.D.

Rozsah práce:

stran	obrázků	tabulek	grafů	pramenů	příloh
44	19	3	7	31	6

Technická univerzita v Liberci

Fakulta textilní

Katedra netkaných textilií

Školní rok 2010 - 2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Pro

Aleše Šamana

obor: 3106-T004

Netkané textilie

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách určuje tuto bakalářskou práci:

Název tématu: Parametry kmitajících tenkých membrán a jejich vliv na zvukově pohltivé vlastnosti

Zásady pro vypracování:

- 1) Prostudování teorie v oblasti zvukově pohltivých vlastností netkaných vláknenných materiálů včetně chování rezonančních membrán.
- 2) Příprava jednotlivých sérií vzorků resp. nanovláknenných vrstev s rozdílnou morfologií vláken.
- 3)
 - a) Proměření rozdílů v nanovláknenných tenkých vrstvách z hlediska struktury.
 - b) Testování činitele zvukové pohltivosti pro vzorky tenkých nanovláknenných membrán s různou morfologií vláken v závislosti na aplikované zvukové frekvenci s definovanou vzdáleností od odrazivé stěny.
- 4) Diskuze výsledků
 - a) Vliv materiálových a procesních parametrů při elektrostatickém zvlákňování na výslednou morfologii vláken tenkých membrán.
 - b) Vliv parametrů vzorků na průběh frekvenční závislosti činitele zvukové pohltivosti.

Rozsah: 30 – 50 stran

Literatura:

1. Škvor, Z. Akustika a elektroakustika. 1. vydání Academia Praha, 2001. ISBN 80-200-0461-0.
2. PITT S., SURAWUT CH.: On the Electrospinning of Poly(vinyl alcohol) Nanofiber Mats: A Revisit. Journal of Applied Polymer Science. 2008, Vol. 108, p. 969 – 978.
3. Kolmer, F., Kyncl, J. Prostorová akustika. 1.vydání. SNTL Praha, 1980.
4. Zwicker, C., Kosten, C. W. Sound Absorbing Materials. Elsevier Pub. Co., NY, 1949

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Klára Kalinová, Ph.D.**

Konzultant: **Ing. Jana Mohrová**

Zadání diplomové práce: 10. 9. 2010

Termín odevzdání diplomové práce: .5.2010

L.S.

Vedoucí katedry:

Děkan:

Doc. Ing. Lenka Martinová, CSc.

Prof. RNDr. Aleš Linka, CSc.

V Liberci dne 29. 09. 2010

PROHLÁŠENÍ

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv, užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum.....

Podpis.....

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval mé vedoucí bakalářské práce Ing. Kláře Kalinové Ph.D, stejně tak konzultantce Ing. Janě Mohrové, za odborné vedení, cenné rady a čas a zájem při vypracování této práce.

Mé poděkování rovněž patří dalším lidem z katedry netkaných textilií, a to Ing. Denise Zálešákové, za pomoc při některých měření, Filipu Sanetníkovi za asistenci při výrobě nanovláknenných membrán.

Poděkování také směřuji na katedru vozidel a motorů, a to Ing. Janu Novákovi za možnost a pomoc při měření činitele zvukové pohltivosti na dvou-mikrofonové impedanční trubici.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je prostudovat vliv změny průměrů vláken tvořících nanovláknenné membrány v závislosti na činiteli zvukové pohltivosti. Změna průměru vláken, byla vyvolána elektrostatickým zvlákňováním roztoků o odlišných koncentracích 9-16 % PVA.

První část obsahuje teoretické poznatky, týkající se zvuku, konkrétně činitele zvukové pohltivosti membrán a porézních struktur. V druhé části je popsán samotný experiment, který ověřuje vliv změny parametrů nanovláknenných membrán a jeho závislost na činitel zvukové pohltivosti pro měnící se frekvence. Vyrobené membrány byly měřeny společně s mykanou vrstvou, která sloužila jako pružina membrány. Získaná data byla zpracována a následně vyhodnocena.

KLÍČOVÁ SLOVA: Činitel zvukové pohltivosti, elektrostatické zvlákňování, koncentrace, průměr, nanovlákneno, membrána

Abstract

Study of diameter change of fibres creating nanofibre membrane in dependence on sound absorption factor is the main objective of this bachelor thesis. The fibre diameter change was initiated by an electrospinning of solutions of various concentrations within the range from 9 to 16 % of PVA.

The first part of the thesis contains theoretical information related to the sound, specifically the sound absorption factor of membranes and porous structures. The executed experiment itself that verifies an influence of parameter change of the nanofibre membranes and its dependence on the sound absorption factor for changing frequencies is described in the second part of the document. The manufactured membranes were measured together with carded layer that was used as a spring of membrane. The obtained data were processed and evaluated subsequently.

KEY WORDS: Sound absorption factor, electrospinning, concentration, diameter, nanofibers, membrane

Obsah

ÚVOD.....	9
TEORETICKÁ ČÁST	
1. TEORIE AKUSTIKY	10
1.1 Akustika	10
1.1.1 Zvuk	10
1.1.2 Hluk	10
1.1.3 Mechanické vlnění	11
1.1.4 Akustické veličiny	12
1.2 POHLCOVÁNÍ ZVUKU	15
1.2.1 Mechanika pohlcování zvuku	15
1.2.2 Prostředky pro pohlcování zvuku	17
1.2.3 Měření akustické pohltivosti	20
2. TECHNOLOGIE VÝROBY TEXTILÍ	22
2.1 ELEKTROSTATICKÉ ZVLÁKŇOVÁNÍ	22
2.2 TECHNOLOGIE VÝROBY MYKANNÉ VRSTVY	24
2.2.1 Příprava vlákenné vrstvy mykáním	24
2.2.2 Vrstvení vlákenné pavučiny	24
2.2.3 Horkovzdušné pojení vlákenné vrstvy	25
2.3 VLÁKENNÝ MATERIÁL	25
2.3.1 Polyvinylalkohol	25
2.3.2 Polyesterová vlákna	26
2.3.3 Bikomponentní vlákna	27
3. VIZKOZITA	27
4. REŠERŠE	28
EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	
5. VÝROBA KRUHOVÝCH MEMBRÁN	31
6. VÝROBA MYKANÉ VRSTVY	34
7. VÝSLEDKY A DISKUZE	35
7.1 Vliv koncentrace roztoku PVA na viskozitu	35
7.2 Vliv koncentrace na průměr vláken	36
7.3 Vliv průměru nanovláken na činitel zvukové pohltivosti	37
7.4 Vliv plošné hmotnosti na činitel zvukové pohltivosti	39
8. ZÁVĚR	41
POUŽITÁ LITERATURA	42
SEZNAM PŘÍLOH	45

Úvod

V době, kdy na lidský organismus působí mnoho vnějších škodlivých vlivů, jako jsou například škodlivé ovzduší, nadměrný hluk, atd., se snažíme hledat nové cesty, při ochraně organismu. Z mnoha studií vyplývá, že vystavení dlouhodobému, nadměrnému hluku má neoddiskutovatelný vliv na lidské zdraví, které se projevuje nenávratným poškozením sluchového orgánu. Také má mimosluchové účinky, které se projevují poruchou spánku, problémy se soustředěním, mohou způsobit chronické změny stresových hormonů a infarkt myokardu. Nadměrný hluk má velké ekonomické dopady, a to např. v oblasti užívání léků, opouštění budov v centru měst, pokles ceny nemovitostí [1]. Je tedy na místě se tímto problémem stále zabývat, objevovat nové technologie a pokoušet se aplikovat nové perspektivní materiály. Což jsou v našem případě nanovlákněné vrstvy.

Tato práce se zabývá problematikou pohlcování zvukových vln, je zaměřená na studování nanovlákněných membrán, jejichž pohyb je tlumený prostřednictvím mykané příčně kladené vrstvy. Snaží se objasnit vliv průměru vláken na zvukově pohltivé vlastnosti membrán, kterých je docíleno použitím roztoků se změnou koncentrace roztoku PVA (8 - 16 %). Podstatou práce je zjistit závislost odlišných průměrů vláken na činitel zvukové pohltivosti, při zachování konstantní plošné hmotnosti membrán.

Práce se skládá ze dvou částí. První část je teoretická, je zaměřena jednak na akustiku. Nalezneme zde definice, popis akustických veličin, a v neposlední řadě vysvětlení problému mechaniky pohlcování zvuku a materiálů, jímž lze dosáhnout pohlcení zvuku v různých frekvencích. V této části jsou také informace, týkající se elektrostatického zvlákňování neboli „elektrospinnigu“ a další teoretické poznatky, které jsou důležité pro prováděný experiment. V druhé části (experimentální) zkoumáme vliv závislosti průměrů nanovláken při konstantních plošných hmotnostech vrstvy.

1. TEORIE AKUSTIKY

1.1 Akustika

Akustika je rozsáhlý vědní obor, zabývající se komplexně **zvukem** od jeho vzniku, přenosu prostorem až po vnímání lidskými smysly [2].

1.1.1 Zvuk

Zvuk je mechanické vlnění, které lze vnímat sluchem a charakterizují ho tři specifické znaky:

- a) Frekvence- počet kmitů za sekundu vyjádřených v hercech [Hz]. Pro člověka jsou slyšitelné zvuky, ležící v intervalu přibližně 16 Hz až 16 000 Hz [1]. Mechanické vlnění s frekvencí menší než 16 Hz, je infrazvuk, frekvenci větší než 16 kHz, má ultrazvuk.
- b) Hladina akustického tlaku- odchylka tlaku pozorované v okolním vzduchu, vyjádřené v Pascalech [Pa]. „Referenční akustický tlak“ jenejšlabší zvuk, který může člověk slyšet při 1000 Hz. Jeho hodnota je 20 μ Pa. Tato hodnota byla standardizována za účelem měření zvukové hladiny. Nejvyšší tlak, který může být slyšen lidským sluchovým ústrojím bez jeho poškození, je okolo 20 Pa.
- c) Délka (trvání)- délka emise, může být dlouhá nebo krátká, průběh zvuku v čase může být ustálený, proměnný nebo přerušovaný. [1]

1.1.2 Hluk

Hluk je každý nežádoucí zvuk, který působí na sluchový orgán člověka, a tím působí negativně na lidský organismus. Jeho intenzita se měří v decibelech (dB). Decibelová stupnice je logaritmická, tzn., že zvýšení hladiny zvuku jen o tři decibely vlastně představuje dvojnásobně zvýšenou intenzitu hluku. Například při běžné konverzaci se pohybuje okolo 65 dB, a zvýšíme-li hlas, rovná se asi 80 dB. Rozdíl je pouhých 15 dB, ale při zvolání, či výkřiku se intenzita zvýší třicetkrát. Abychom vzali v úvahu skutečnost, že lidské ucho je na různé frekvence různě citlivé, měříme obvykle sílu nebo intenzitu hluku v tzv. hladině hluku A vyjádřené v decibelech (dBA).

Není to jen intenzita, podle které se určuje, zda je hluk nebezpečný. Velmi důležitá je též doba expozice hluku. Abychom ji vzali v úvahu, používáme tzv. časově průměrné

intenzity hlukové zátěže. V případě hluku na pracovišti se většinou vychází z osmihodinové pracovní doby. [1]

1.1.3 Mechanické vlnění

Vlnění je jedním z nejrozšířenějších fyzikálních jevů. S vlněním se setkáváme v podobě, světla, rozhlasového či televizního vysílání. Vlnění má různou fyzikální podstatu, ale platí pro něj řada společných zákonitostí. Mechanické vlnění si můžeme objasnit na jednoduchém příkladu. Příkladem takového vlnění může být vznik kruhových vln na vodní hladině, po dopadu kamene. V místě dopadu kamene vznikl kmitavý rozruch, který se v podobě vln šíří všemi směry. Plovoucí předměty v určité vzdálenosti od místa dopadu se v okamžiku zasažení vlny rozkmitají. To znamená, že kmitání se prostřednictvím média (v tomto případě vody) přeneslo na jiné místo a tam vzniklo kmitání. Podstatou mechanického vlnění je tedy přenos kmitání látkovým prostředím, kdy šíření vln není spojeno s přenosem látky, a však se jím přenáší energie [2].

Vznik a druhy vlnění

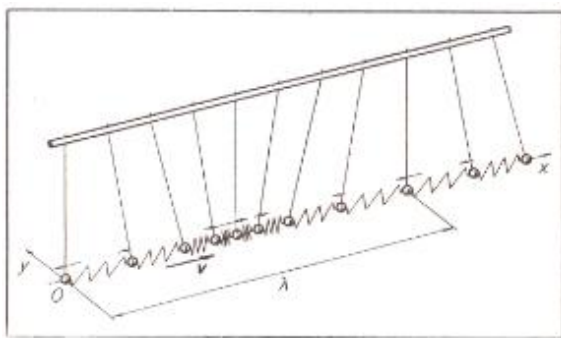
Mechanické vlnění vzniká v látkách všech skupenství a jeho existence je příčinou vazebných sil mezi částicemi (atomy, molekuly) v prostředí, kterým se vlnění šíří. To znamená, že kmitání jedné částice se vazbou přenáší na další částici. Současně s kmitáním se přenáší na další částici i energie. Takovéto prostředí označujeme jako pružné prostředí. Jestliže hmotný, který vytváří vlnění, kmitá harmonicky, vzniká vlna sinusového průběhu, která je charakterizovaná vztahem:

$$\lambda = \frac{c}{f} = c \cdot T \quad (1)$$

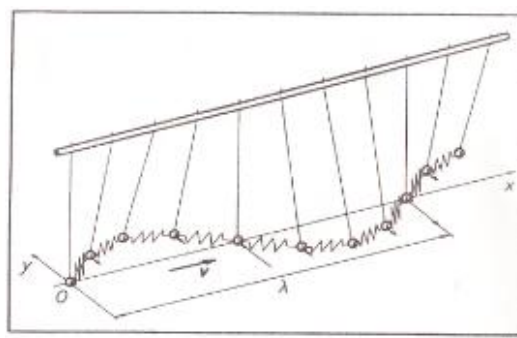
Kde: λ [m] je vlnová délka, c [m.s⁻¹] rychlost postupného vlnění, T [s] perioda-opakování děje a f [Hz] frekvence.

Rozlišujeme dva druhy mechanického vlnění. Prvním z nich je potupné vlnění příčné (viz. obr. 1), kde jednotlivé částice jsou vlastně mechanické oscilátory navzájem spojené vazbou. Vazby jsou na obrázcích znázorněné pružinkou. Postupné vlnění příčné vzniká tedy vychýlením prvního kyvadla ve směru osy y a necháme ho bez jakéhokoli zásahu volně kmitat. Pak začnou kmitat i ostatní kyvadla. Tento druh mechanického vlnění je charakteristický pro pevná i pružná tělesa ve tvaru tyčí, vláken apod. .

Druhým druhem mechanického vlnění je postupné vlnění podélné (obr. 2), vzniká v tělesech všech skupenství, tedy i v kapalinách a plynech, která jsou pružná při změně objemu (tzn. Při stlačování a rozpínání). Představa je založena opět na řadě kyvadel spojených vazbou. Změna oproti příčnému kmitání spočívá v tom, že kyvadla kmitají ve směru osy x . Při tomto druhu vlnění dochází k zhušťování a zředňování kmitajících částic okolo míst, v nichž jsou okamžité výchylky kmitajících částic nulové [2].



Obr. 2: Postupné vlnění podélné. [2]



Obr. 1: postupné vlnění příčné. [2]

1.1.4 Akustické veličiny

Rychlost zvuku

Zvuk se šíří do svého okolí přenášením kmitů jedné částice vzduchu na druhou. Rychlost zvukové vlny je závislá na fyzikálním stavu prostředí. V plynech je dáno vzorcem:

$$c = \sqrt{\frac{\chi \times \rho}{\rho}} \quad [m/sec] \quad (2)$$

Kde: P je tlak plynu v rovnovážném stavu, χ je Poissonova konstanta, ρ je hustota plynu.

Rychlost zvuku je rovněž závislá na teplotě a řídí se vztahem:

$$c = 331,7 + 0,6 t$$

V praxi počítáme s rychlostí zvuku ve vzduchu při normální teplotě 20°, tj. $c = 344$ m/sec. Závěrem lze dodat, že na rychlost zvuku nemá kmitočet zvuku vliv. O tom se přesvědčíme jednoduše tak, že zvuky různých kmitočtů přicházející zdálky slyšíme zanikat současně. Ani běžné změny atmosférického tlaku a vlhkosti vzduchu nemají prakticky vliv na rychlost zvuku a můžeme je většinou zanedbat. Rychlost zvuku v různých prostředích je v **tab.1**.

Tab. 1 Rychlost zvuku v různých prostředích. Čerpáno z [7].

Prostředí	Rychlost m/s	Prostředí	Rychlost m/s
Vzduch	344	Voda 21,5 C . .	1484
Kyslík	317	Hliník	5105
Dusík	336	Ocel	5000
Vodík	1270	Mosaz	3480
Metan	432	Olovo	1300
Kysličník uhličitý .	258	Dřevo	3320
Kysličník uhelnatý .	337	Guma	asi 50

Akustický tlak p [Pa]

V klidném stavu, tj. v prostředí bez zvuku, je všude stejný tzv. atmosférický tlak. Sílí-li se prostředím zvuková vlna, zhušťuje se a zředí vzduch a k atmosférickému tlaku přistupuje ještě proměnlivý akustický tlak. Obvykle potřebujeme znát efektivní hodnoty tohoto tlaku. Zvukový tlak klesá úměrně se vzdáleností, tzn., že ve dvojnásobné vzdálenosti je poloviční akustický tlak.

Akustická rychlost

Rychlost, jakou kmitají částice vzduchu při šíření zvuku, nazýváme akustickou rychlostí. Je to opět veličina střídavá, avšak je to na rozdíl od akustického tlaku vektor, protože má směr i velikost, kdežto akustický tlak nemá směr, a je proto skalár. Mezi oběma veličinami je v obecném případě fázový rozdíl. Platí:

$$v = v_m \sin(\omega t - \varphi) \quad [m/sec] \quad (3)$$

Kde: φ je právě fáze mezi akustickou rychlostí a akustickým tlakem. Pro postupující vlnu rovinou je $\varphi = 0$, avšak pro stojaté vlnění $\varphi = 90^\circ$.

Akustická výchylka

Výchylku kmitající částice prostředí z rovnovážné polohy nazýváme akustickou výchylkou. Kmitání jednotlivých obvodů je fázově opožděno vůči kmitání počátečního bodu a fázové zpoždění φ je poměrné vzdálenosti proměnlivá, uvažujeme vzdálenost x

od počátku k rovnovážné poloze a pak je $\phi = \pm \omega x/c$ a pro okamžitou akustickou výchylku platí:

$$a = a_m \sin \omega \left(t \pm \frac{x}{c} \right) \quad (4)$$

Kde: a_m je maximální akustická výchylka, x je vzdálenost od počátku, c je rychlost šíření.

Záporné znaménko platí pro šíření v kladném smyslu osy x , kladné pro šíření v záporném smyslu osy x .

Intenzita zvuku

Akustický výkon, který projde jednotkovou plochou kolmou na směr šíření zvukové vlny, nazývá se intenzita zvuku. Intenzita zvuku je určena rovnicí:

$$J = \frac{1}{2} \rho c \omega^2 a_m^2 \quad [W/m^2] \quad (5)$$

Kde: ρ je hustota prostředí, c je rychlost šíření vlnění, a_m je maximální výchylka, ω je kruhová rychlost [7].

Hladina akustického tlaku

Vyjadřování hodnot akustického tlaku v [Pa] by bylo velice nepřehledné a vedlo by k častým chybám. Proto pro akustický tlak byla zavedena příslušná hladina, kterou je nutno vztahovat vždy k určitému kmitočtu, nebo pásmu kmitočtů. Samotný údaj hladiny akustického tlaku by neměl význam, neboť nevypovídá nic o poloze signálu na kmitočtové ose. Hladina akustického tlaku L_p je definovaná vztahem:

$$L_p = 20 \log \frac{p}{p_0} \quad [dB] \quad (6)$$

Kde: p [Pa] sledovaný akustický tlak (efektivní hodnota), p_0 [Pa] referenční akustický tlak.

Tato logaritmická stupnice má jako výchozí bod prahovou hodnotu (referenční) akustického tlaku $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa, čemuž odpovídá v decibelové stupnici 0 dB. Každému zdesateronásobení akustického tlaku v [Pa] odpovídá zvýšení hladiny akustického tlaku o 20 dB.

Hladina intenzity zvuku

Hodnoty hladin akustické intenzity L vyhodnocujeme hlukoměrem (též zvukoměrem). Tato hladina je definovaná vztahem:

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad [dB] \quad (7)$$

Kde: $I_0 [W/m^2]$ je referenční hodnota intenzity zvuku, $I [W/m^2]$ intenzita zvuku sledovaného akustického signálu [4].

1.2 POHLCOVÁNÍ ZVUKU

1.2.1 Mechanika pohlcování zvuku

Pohlcování zvuku spočívá v dopadu akustické energie dopadá na ohraničující plochu uzavřeného prostoru, část akustické energie se pohltí a zbytek se odrazí zpět do prostoru. Velikost zvukové energie vyjadřujeme činitelem pohltivosti α , který je dán vztahem:

$$\alpha = \frac{I_{poh}}{I_{dop}} \quad (8)$$

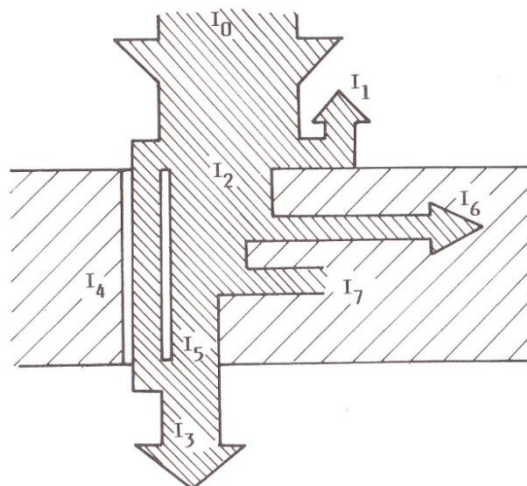
Kde: I_{poh} je intenzita zvuku pohlcená překážkou a I_{dop} je intenzita zvuku dopadajícího na překážku. Činitel zvukové pohltivosti α může nabývat dvou mezních hodnot:

- a) Jestliže ohraničující plocha odrazí všechnu dopadající zvukovou energii zpět (žádná energie se na ohraničující ploše nepohltí), je činitel $\alpha = 0$. Takovou plochou může být v praxi např. zeď, obložená skleněnými deskami.
- b) Naopak, když ohraničující plocha neodrazí žádnou zvukovou energii zpět (všechna zvuková energie se pohltí), je činitel $\alpha = 1$. Takovou plochu např. otevřené okno, kterým energie projde do jiného prostoru [3].

Co se děje s akustickou energií při dopadu na nějakou překážku nejlépe ukazuje schéma na obr. 3. Akustický výkon dopadající na $1m^2$ stěny označujeme jako intenzita zvuku I_0 a je možno ho rozdělit na části:

- a) I_1 - Intenzita zvuku vlny odražené,
- b) I_2 - Intenzita zvuku vlny pohlcené,
- c) I_3 - Intenzita zvuku vlny vyzářené za stěnu celkem,
- d) I_4 - Intenzita zvuku vlny prošlé za stěnu otvory a póry,

- e) I_5 - Intenzita zvuku vlny, kterou stěna vyzáří v důsledku svého ohybového kmitání do druhého prostoru,
- f) I_6 - Intenzita zvuku, která je vedena ve formě chvění do ostatních částí přiléhajících konstrukcí,
- g) I_7 - Intenzita zvuku přeměněná ve stěně na teplo.



Obr. 3 Schéma rozdělení akustické energie při dopadu zvukové vlny na stěnu.

Čerpáno z [4].

V podstatě je tedy pohlcování akustických vln způsobeno přeměnou akustické energie v jinou energii např. tepelnou. Podle povahy pohlcující plochy se přeměna energie děje několika způsoby:

- a) Přeměny vznikajícím třením,
 - K přeměně akustické energie vlivem tření dochází tehdy, pohybuje-li se vzduch v blízkosti pevné stěny. Aby bylo přeměněno dostatečné množství energie a tím i zvýšení pohltivosti, musí plocha, na níž nastává tření, být značně veliká. Proto se k pohlcování zvuku tímto způsobem hodí porézní materiály, u nichž se zvuk šíří v látce jemnými póry, jejichž celková plocha je značně veliká vzhledem k jejímu objemu [4].
- b) Přeměny vznikajícím poklesem akustického tlaku,
 - Při šíření zvukové vlny látkou, nastává v určitých místech zhuštění molekul vzduchu, což se projeví současně nárůstem celkového tlaku. Jestliže dojde z jakýchkoliv důvodů ke snížení tlaku, sníží se i potenciální energie

nashromážděná v uvažovaném místě a tím se zmenší i energie zvukové vlny. Příčin relaxací akustického tlaku může být několik. Při stlačení vzduchu dojde k nárůstu teploty, a jelikož soustava pórů není od „kostry“ tepelně izolována, dochází k přestupu tepla ze vzduchu do rámu. Jiný způsob relaxace tlaku nastává při šíření zvuku pevnými látkami nebo pevnou kostrou nějaké pevné porézní látky. Mění-li se např. u vláknité látky průřez kostry, tak dochází v místech malého průřezu ke značnějšímu stoupání teploty, a jestliže je látka dobrým vodičem tepla, dojde k vyrovnaní teplot s okolím a tím opět k relaxaci tlaku [4].

- c) Přeměny vznikající nepružnou deformací,
- K přeměnám zvukové energie vlivem nepružné deformace těles dochází u látek, které vykazují tzv. pružnou hysterezi. Stlačíme-li takovou látku určitou silou, nevrátí se tato látka do původního stavu. Přestane-li síla působit. Práce vynaložená na deformaci je tedy větší než práce získaná pružností tělesa při návratu do původního stavu a jejich rozdíl představuje úbytek zvukové energie vlivem činitele vnitřního tlumení v materiálu [4].

1.2.2 Prostředky pro pohlcování zvuku

Vlastnosti akustických obkladů

Nejdůležitější vlastností je činitel zvukové pohltivosti, který pro kolmý odpad zvukových vln označujeme α_N . Velikost činitele zvukové pohltivosti pak dále závisí od velikosti akustické impedance Z , jež se jeví v lícové rovině obkladu. Prostá velikost impedance se skládá z reálné složky R a imaginární složky X :

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (9)$$

Akustické pole vytvořené rovinnými zvukovými vlnami pak vykazuje charakteristický vlnový odpor Z_o :

$$Z_o = \varrho_o \times c_o \quad \left[\frac{kg}{m^2}; \frac{kg}{m^3}; \frac{m}{s} \right] \quad (10)$$

Kde: ϱ_o je měrná objemová hmotnost vzduchu a c_o je rychlost šíření zvukových vln ve vzduchu. Za běžných atmosférických podmínek lze vlnový odpor pokládat za konstantu $Z_o = 420 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$.

Z vlnové rovnice, popisující zvukové pole rovinných vln dopadajících kolmo na obklad a od obkladu odražených lze odvodit vztah mezi činitelem zvukové pohltivosti, složkami akustické impedance a vlnovým odporem:

$$\alpha_N = \frac{4 R Z_o}{(R+Z_o)^2 + x^2} \quad (11)$$

Reálná složka akustické impedance je dána odporem vznikajících v porézním materiálu do obkladu, kdežto imaginární složka je způsobena vzájemným působením hmotové reaktance (např. otvory děrovaného panelu) a poddajností reaktancí (např. poddajností vzduchu ve vzduchovém polštáři mezi děrovanou deskou a stěnou místnosti). Obě reaktance jsou silně závislé na kmitočtu dopadajících zvukových vln a také odpor porézního materiálu je více či méně kmitočtově závislý [4].

Porézní materiály

Pod pojmem porézní materiál máme v akustice obvykle na mysli pevnou látku, v jejímž objemu jsou malé dutinky vyplněné vzduchem. Poměr objemu těchto dutinek k celkovému objemu látky bývá dosti značný a činí asi 80 až 99 % celkového objemu. Kostra porézního materiálu má buď vláknitou strukturu, nebo strukturu ztuhlé pěny. Má-li materiál dobře pohlcovat zvuk, musí být její póry navzájem **propojeny**, aby se zvuk mohl materiálem šířit dále a zvuková vlna tak postupně mohla snižovat svou intenzitu vlivem tření a odražení o stěnu póru. Póry nemusí být propojeny u materiálů, jejichž kostra je velmi poddajná, elastická, takže zvuk do ní z pórů snadno přechází. Příkladem takových materiálů jsou zpěněné měkké plastické hmoty, vlákenná rouna. [5]

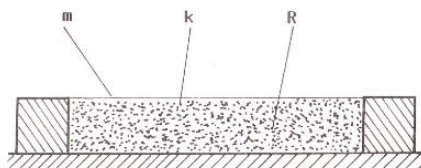
Tenké kmitající membrány

Pod pojmem kmitající membrána si můžeme představit tenkou desku nebo fólii, jejíž tuhost v ohybu je velmi nepatrná a která je upevněná na tuhém rámu v určité vzdálenosti od pevné stěny. Jak je znázorněno na obr. 4. Pohltivost těchto útvarů je dána přeměnou akustické energie na energii kinetickou a tím vytvoření rezonančního efektu membrány.

Membrána představuje hmotnost m o konstantní plošné hmotnosti $[\text{kg/m}^2]$. Vzduchový polštář vytváří pružinu, jejíž tuhost je k $[\text{N/m}]$. Prostor mezi membránou a zadní pevnou stěnou bývá vyplněn porézním materiálem, který tlumí kmitání částic vzduchu v tomto prostoru a tím i celou soustavu (obr. 4). Obvykle je volena membrána

z takového materiálu, aby její ohybová tuhost byla ve srovnání s tuhostí vzduchového polštáře mnohem menší. Proto se vliv upevnění membrány na okraji prakticky neprojeví a membrána se bude pohybovat jako celek podobně jako kmitající píst. [4]

V současné době se hledají nové aplikace nanovláknenných membrán, je zřejmé že tyto vrstvi, mají dobré pohltivé vlastnosti. Je potvrzené, že dochází ke kmitání porézní membrány, [viz. Předchozí odstavec], kdy byla membrána označována jako neprodyšná fólie, ale zároveň se uvažuje o myšlence, že dochází ke kmitání jednotlivých vláken, což by schopnost pohlcovat zvukové vlny ještě zvyšovalo.



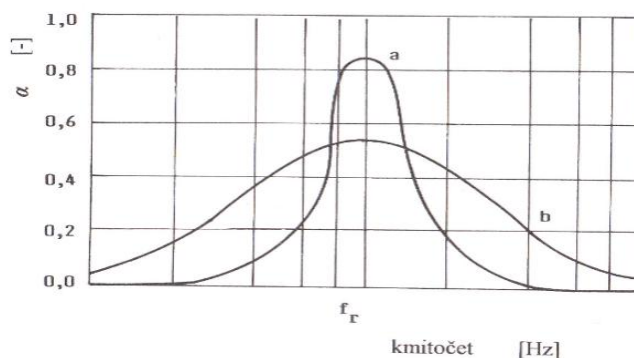
Obr. 4 Schéma usprádnání kmitající membrány. Čerpáno z [4].

Rezonanční kmitočet membrány stanovíme ze vztahu:

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1,4P_b}{m''d}} \quad (12)$$

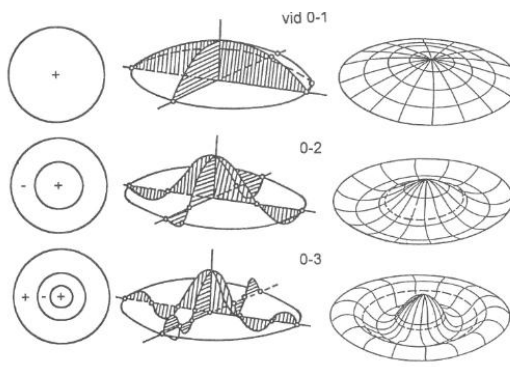
Kde: P_b [Pa] barometrický tlak vzduchu, m'' [kg/m²] plošná hmotnost membrány, d [m] tloušťka vzduchového polštáře.

Při rezonančním kmitočtu dochází k maximálnímu pohlcování akustické energie. Průběh absorpce pro dva různé případy membrán je na obr. 5. Je-li za membránou pouze vzduch, vykazuje křivka pohltivosti ostré maximum (a). Bude-li prostor mezi membránou vyplněn pohltivým porézním materiálem, křivka absorpce bude mít nižší maximum, ale zvětší se šířka kmitočtového pásma, kde dochází k významnému pohlcování zvuku (b).



Obr. 5 Kmitočtový průběh činitele pohltivosti kmitající membrány. Čerpáno z [4].

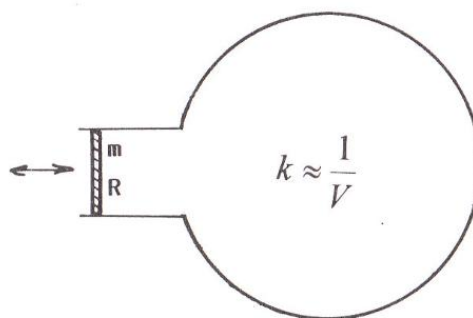
Obr. 6 znázorňujeme rozložení výchylek prvních tří symetrických vidů (pohybů po nárazu zvukové vlny) kmitání kruhové membrány. Jsou zde v řezech naznačeny průhybové čáry při jednotlivých videch, nakresleny uzlové čáry, označeny polarity a znázorněny tvary ploch [6].



Obr. 6 Výchylky prvních tří symetrických vidů kruhové membrány. Čerpáno z[6].

Helmholtzův rezonátor

Tyto druhy rezonátorů bývají umístěné buď jednotlivě, nebo jsou sdružené do děrovaných panelů. Helmholtzův rezonátor znázorněný na obr. 7 je tvořen dutinou o určitém objemu V , opatřenou hrdlem, v níž se nachází určitá hmota vzduchu. Objem rezonátoru se chová jako poddajnost, píst reprezentuje akustickou hmotnost. Pohybu pístu je kladen určitý odpor třením, který je reprezentován třecím odporem R .



Obr. 7 Schéma Helmholtzova rezonátoru. Čerpáno z [4].

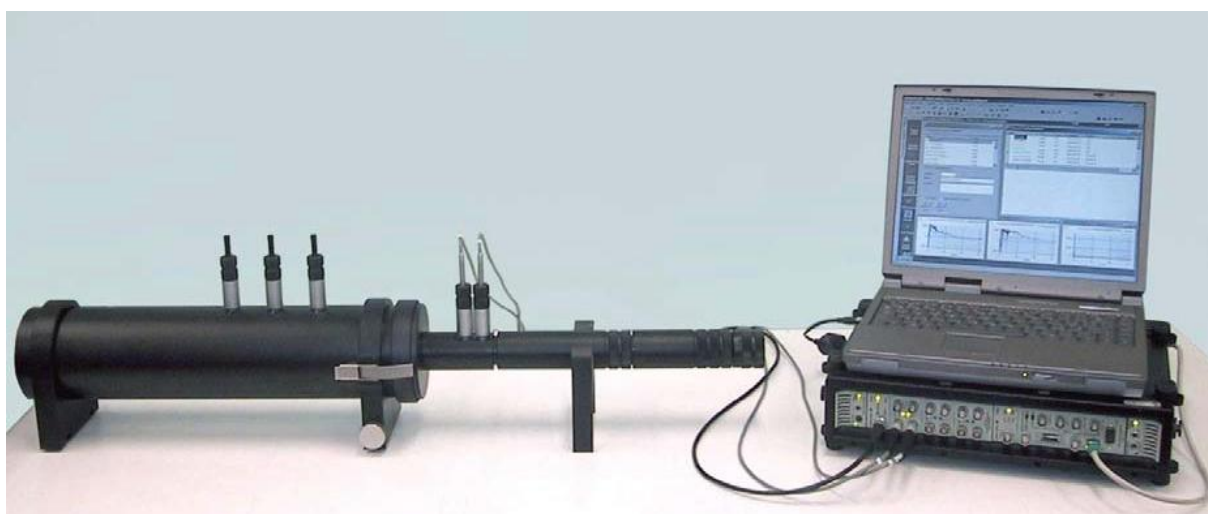
1.2.3 Měření akustické pohltivosti

Dvou-mikrofonová impedanční trubice se používá pro měření akustických charakteristik malých testovacích vzorků. Tato metoda měření činitele zvukové pohltivosti obsahuje rozklad širokopásmového stacionárního náhodného signálu do jeho dopadající a odražené složky.

Měřicí soustava sestává z Dvou-mikrofonové impedanční trubice 4206, generátoru náhodného zvukového signálu se zesilovačem, analyzátoru signálů a výpočetní jednotky. Trubici lze popsat jako speciální kovovou trubici s reproduktorem sloužícím jako zdroj zvukových vln. V zařízení jsou umístěny také reproduktory.

Dvou-mikrofonové měřicí zařízení obsahuje dvě trubice o odlišném průměru. Trubice s vnitřním průměrem 100 mm měří na nižších frekvencích (50 Hz - 1,6 kHz) a trubice s vnitřním průměrem 29 mm měří vyšší frekvence (500 Hz – 6,4 kHz).

Námi používaná impedanční trubice je opatřena šestikanálovým analyzátozem Pulse 3560 C a s počítačem, který operuje s dodávaným softwarem „Material testing“ [8].



Obr.8 Dvou mikrofonová impedanční měřicí trubice. Čerpáno z [8].

Princip měření

Zdroj (reproduktor) vytváří zvukové vlnění v trubici, které dopadá na vzorek materiálu. Materiál je umístěn na opačném konci trubice. Na trubici jsou dva mikrofony, které jsou zabudované do stěny trubice a snímají složku dopadajícího a odraženého akustického tlaku. Činitel zvukové pohltivosti při kolmém dopadu akustického vlnění se potom určí z rovnice:

$$\alpha = 1 - |r|^2 = 1 - r_r^2 - r_i^2 \quad (13)$$

Kde: r je činitel odrazu akustického tlaku, r_r – reálná složka činitele odrazu akustického tlaku, r_i – imaginární složka činitele odrazu akustického tlaku.

Činitel odrazu akustického tlaku je dán rovnicí:

$$r = \frac{H_{12} - H_I}{H_R + H_{12}} \times e^{2k_0 \cdot x_1 i} \quad (14)$$

Kde: H_{12} je přenosová funkce mezi místy 1 a 2, H_I – přenosová funkce pro samotnou dopadající vlnu, H_R – přenosová funkce pro samotnou odražející se vlnu, k_0 – komplexní vlnové číslo, x_1 – vzdálenost mezi vzorkem a vzdálenějším mikrofonom od něj, i – imaginární jednotka [9].

2. TECHNOLOGIE VÝROBY TEXTILIÍ

2.1 ELEKTROSTATICKÉ ZVLÁKŇOVÁNÍ

Podstata elektrostatického zvlákňování

Technologie elektrostatického zvlákňování je založena na principu vysokého napětí. Elektroda vysokého napětí je přímo spojená s polymerním roztokem. V důsledku vysokého napětí mezi koncem kapiláry, nebo povrchem válečku a protielektrodou, dochází k tvorbě Taylorova kužele, respektive kuželů, v tomto momentu dochází k tvorbě nanovláken. Z vláken se při zvlákňování odpaří rozpouštědlo, vlákna tuhnou a dopadají na kolektor, přes který prochází podkladová textilie. Nabitý proud se zrychluje a ztenčuje v elektrickém poli, nakonec narazí na uzemněnou protielektrodu, na které se usadí. [10]

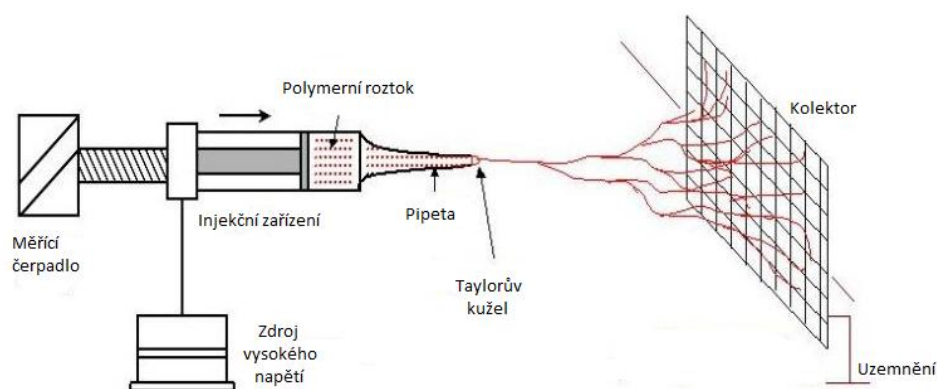
Druhy elektrostatického zvlákňování

Elektrostatické zvlákňování lze rozdělit na dva odlišné směry. Oba využívají vysokého elektrostatického pole, liší se především zvlákňovacím elementem a produkcí. V prvním případě, je využito tenké kapiláry, kdy vzniká jeden taylorův kužel. Další možností elektrostatického zvlákňování je zařízení s obchodním názvem „nanospider“, které využívá ke zvlákňování váleček.

Elektrostatické zvlákňování z trysky

Tímto způsobem je možné zvlákňovat roztok nebo taveninu polymeru, která je obsažena ve skleněné trubici, obvykle pipetě. Ta je připojena na injekční zařízení, které slouží jako zásobárna polymeru a zároveň působením tlaku je vyvoláno dávkování.

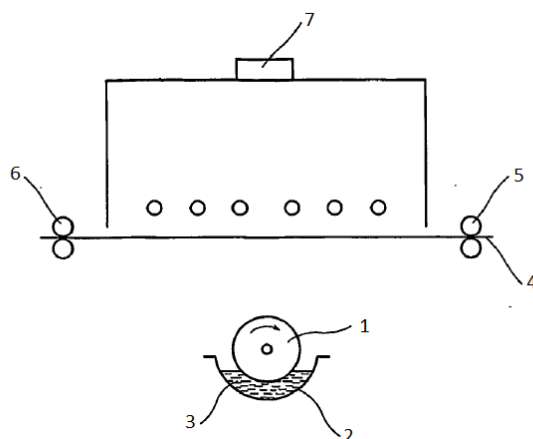
Měřicí čerpadlo působí na píst injekčního zařízení, tím dochází k průtoku látky přes pipetu. Hnací silou tohoto zařízení je vysoké napětí, které je přes vodič přiveden na tělo injekčního zařízení, a tím do roztoku. Vysoké napětí může zastávat kladnou, nebo zápornou polaritu. Na konci pipety se utváří působením vysokého napětí Taylorův kužel, z kterého se dlouží vlákno. Dochází k neustálému dloužení do té doby, než vlákno uloží na kolektor (protielektrodu), která je většinou opatřena nějakým druhem podkladové textilie. Toto zařízení se může vyskytovat v mnoha variacích, a to myšleno z hlediska postavení trysky. Je možné zvlákňovat v jakémkoli stupni vůči vodorovné základně, ale nejobvyklejší je zařízení, kdy kapilára je postavena horizontálně nebo vertikálně [11].



*Obr. 9 Schéma principu elektrostatického zvlákňování- horizontální kapilára.
Čerpáno z [11].*

Nanospider

Tato technologie výroby nanovláken je založena na objevu, kdy je možné vytvořit mnoho Taylorových kuželů tvořící se na povrchu válečku, který je opatřen tenkou vrstvou roztoku polymeru. Váleček rotuje ve vaničce, ve které je obsažen roztok polymeru, a ten ulpívá díky své viskozitě na povrchu a zanechává tenký polymerní film. Taylorovy kužely se tvoří ve vrchní úvratí válečku, a to díky nejkratší vzdálenosti mezi elektrodami. V tomto místě je elektrostatické pole nejintenzivnější. Při zvlákňování dochází k odpaření rozpouštědla, a poté vlákno dopadá na kolektor. Parametry vláken a strukturu výsledné textilie je možné ovlivnit mnoha modifikacemi stroje, např. druhy válečků, druhy kolektorů, vzdáleností elektrod, velikostí napětí.



Legenda:

- 1) Váleček s \pm nábojem
- 2) Roztok polymeru
- 3) Vanička
- 4) Podkladová textilie
- 5) Přiváděcí válečky
- 6) Odváděcí válečky
- 7) Protielektroda

Obr. 10 schéma elektrostatického zvlákňování z válečku. Čerpáno z [12]

2.2 TECHNOLOGIE VÝROBY MYKANNÉ VRSTVY

2.2.1 Příprava vlákenné vrstvy mykáním

K přípravě mykané vlákenné vrstvy se využívá mykacích strojů nebo jsou k dispozici speciální zařízení, která byla účelově navržena pro tuto činnost např. mykací stroj wirrvlies nebo rounotvořič K 21 Fehrer, kde jsou uplatňovány, jak mechanické působení, tak aerodynamické proudění vzduchu. Mykací stroje se rozdělují podle materiálu, pro který jsou určeny. V případě bavlny se jedná o víčkové mykací stroje, pro vlnu se využívají stroje válcové. Z důvodů větší šíře a tady i větší výrobnosti se upřednostňují stroje válcové. Mykací ústrojí v těchto strojů tvoří trojce válců (tambur, pracovní válec, obraceč). Válce jsou opatřeny drátkovými nebo pilkovými povlaky, mezi nimiž dochází k ojednocení, urovňování, a částečnému mechanickému čištění.

Jemnost povlaků je dána parametry vláken, například na jemná vlákna musí působit odpovídající jemný povlak pro co nejlepší vlastnosti výsledné pavučiny. Také přisazení válců je velice důležitý parametr mykání. Zpravidla se vzdálenosti mezi povlaky snižují ve směru průchodu materiálu strojem [13].

2.2.2 Vrstvení vlákenné pavučiny

Samotná pavučina, vycházející z mykacího stroje, má velice nízkou plošnou hmotnost, která je vhodná jen pro omezený sortiment výrobků. Větší plošnou hmotnost lze docílit postavením několika mykacích strojů za sebe, kdy pavučiny z jednotlivých

strojů jsou ukládány na jeden společný dopravník, jedná se o „podélné vrstvení“. Výsledná pavučina vytvořená tímto způsobem vrstvení má anizotropický charakter uspořádání vláken.

Izotropního uspořádání vláken lze např. docílit příčným kladením. Tento způsob kladení se snaží o izotropní uspořádání vláken, které je dáno úhlem skalku pavučiny. Materiál je přiváděn z mykacího stroje a naváděn mezi dva výkyvné válce (vertikální kladeč pavučiny), jejichž pohyb je konstantní. Regulace plošné hmotnosti se ovlivňuje odváděcím dopravníkem, na který je materiál pokládán výkyvnými pásy [13].

2.2.3 Horkovzdušné pojení vlákenné vrstvy

Tento druh pojení se využívá především při zpracování bikomponentních vláken nebo směsi vláken, z nichž jeden druh vláken má nižší teplotu tání. Toto zařízení je možné využít i při pojení dvou vlákenných vrstev, mezi které se vloží mřížka nebo fólie z termoplastického polymeru. Podmínkou teplovzdušného je propustnost vlákenné vrstvy pro vzduch a proto v případě použití folie je nutno perforovat například vpichováním.

Vlákenná vrstva prostupuje horkovzdušnou pojící komorou s cirkulujícím horkým vzduchem. Vzduch se zahřeje na teplotu postačující k roztavení jedné vlákenné složky směsi. Pomocí prostupujícího horkého vzduchu se teplo dostane velice rychle do celé tloušťky vrstvy a tedy i k jednotlivým vláknům. Tepelný přenos tepla je dán vztahem:

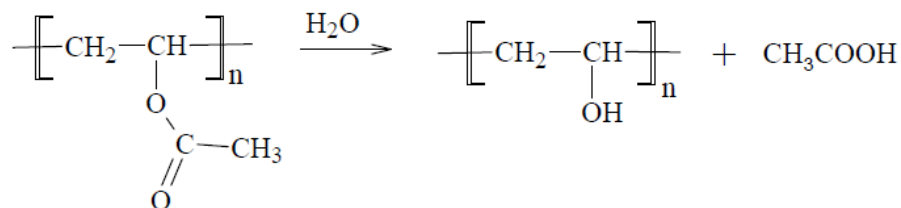
$$Q = \lambda \frac{\Delta T}{l} \quad (15)$$

Kde: Q je množství tepla prošlé jednotkovou plochou za jednotku času [$\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} = \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$], λ je součinitel tepelné vodivosti materiál [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$], ΔT je teplotní rozdíl mezi dvěma teplosměnnými plochami [K], l je vzdálenost teplosměnných ploch [m] [13].

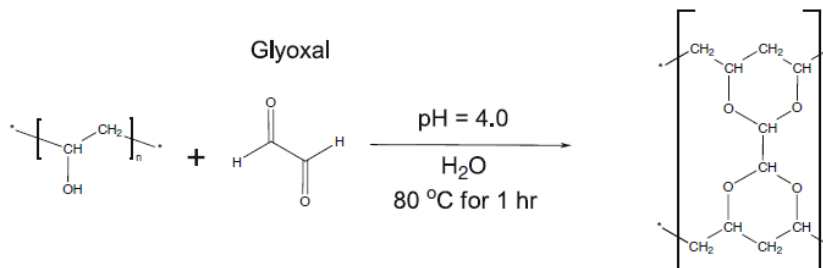
2.3 VLÁKENNÝ MATERIÁL

2.3.1 Polyvinylalkohol

Polyvinylalkohol (zkratka PVOH, PVA, nebo PVAL) je ve vodě rozpustný syntetický polymer. Přípravuje se alkalickou hydrolýzou polyvinylacetátu (viz obr.11). Monomer vinylalkoholu neexistuje. Proto polyvinylalkohol obsahuje stále určité

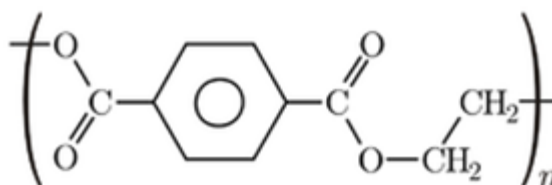


Mechanické vlastnosti a chemickou odolnost lze u Polyvinylalkoholu modifikovat síťováním. Podle článku [15] je proto vhodný glyoxal za přítomnosti zvýšené kyselosti (H_3PO_4) a delším působení tepla. Rovnice je naznačena na obr.12.



2.3.2 Polyesterová vlákna

V produkci mezi syntetickými vlákny zauímají první místo (47 %). Polyestery jsou skupinou polymerů, které obsahují esterovou funkční skupinu R-COOR'. Vznikají polykondenzační reakcí karboxylové kyseliny a alkoholu (esterifikace). Klasickým Polyesterovým vláknem je polyethyléntereftalát (PET). Při výrobě do reakce vstupuje kyselina tereftalová a etylenglykol za vzniku PET a nízkomolekulární látky (H₂O) [16,14].

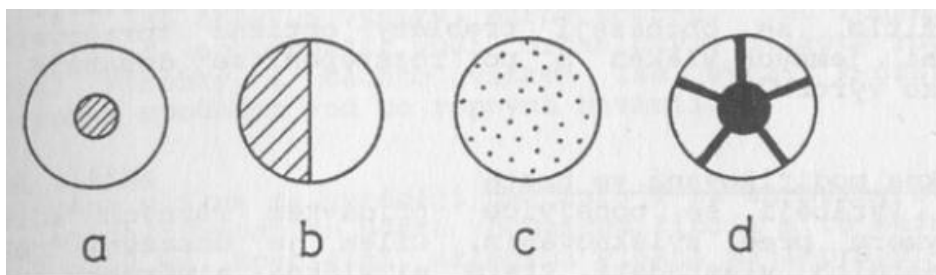


26

2.3.3 Bikomponentní vlákna

Jsou to vlákna, která jsou vyráběná pomocí speciálních zvláknovacích trysek a jsou složeny ze dvou různých polymerů (obr.14), z čehož jeden druh polymeru zastává funkci výše tajícího polymeru z pravidla polyester a níže tající složky kopolyester nebo polypropylen. Bikomponentní vlákna se používají především k výrobě tepelně pojených netkaných textilií. Používají se jako pojivo pro směsi s vlákny základními nebo vlákna samotná. Pro tyto účely se nejvíc hodí vlákno typu „bok po boku“ a „jádro-plášť“.

Výhodou je, že výše tající složka vlákna při působení tepla slouží jako opora výsledné netkané textilie. Nedochází k borcení vrstvy, a z toho vyplývá i vyšší objemnost. Pojení vláken se uskutečňuje v místech křížení vláken. Pomocí bikomponentních vláken můžeme docílit výroby velmi jemných vláken. Využívá se vlákno typu „ostrovy v moři“, kdy po odstranění složky „moře“ dostaneme jemná vlákna. [13]



Obr. 14 Příklady bikomponentních vláken, a) jádro plášť, b) bok po boku, c) ostrovy v moři. Čerpáno z[13].

3. VIZKOZITA

Viskozita je fyzikální veličina, udávající poměr mezi tečným napětím a změnou rychlosti v závislosti na vzdálenosti mezi sousedními vrstvami při proudění skutečné kapaliny.

Viskozita je veličina charakterizující vnitřní tření a závisí především na přitažlivých silách mezi částicemi. Kapaliny s větší přitažlivou silou mají větší viskozitu, větší viskozita znamená větší brzdění pohybu kapaliny nebo těles v kapalině.

Tuto veličinu lze tedy jednoduše definovat jako míru odporu kapaliny vůči toku a je vyjádřena vztahem:

$$\sigma = \eta \frac{dv}{dx} \quad [Pa \cdot s] \quad (16)$$

Kde: σ je tečné napětí působící na jednotkovou plochu vzájemného posunu dvou paralelních vrstev kapaliny [Pa], dv - rozdíl rychlosti vrstev [$m \cdot s^{-1}$], dx - vzdálenost vrstev [m] [13].

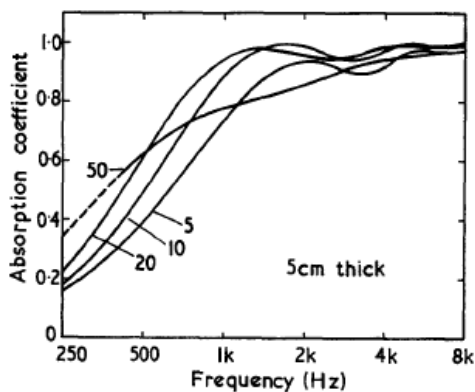
4. REŠERŠE

Modely a studie zabývající se pohlcováním zvuku textilními materiály

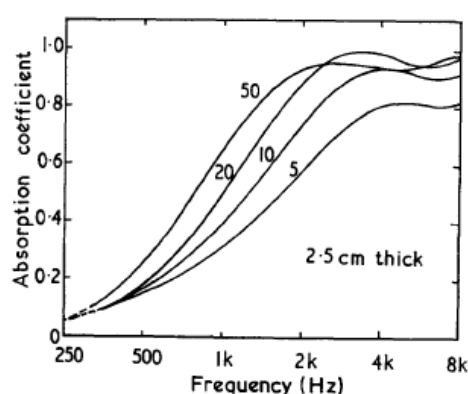
Modely z porézních zvukově izolačních materiálů se zabývali C. Zwicker and C. W. Kosten. Vytvářeli matematické vztahy, které používali jako nástroj pro navrhování a predikci chování těchto materiálů. Experimentální data srovnávali s teoretickými předpověďmi [20]. Na výzkum C. Zwikkera a C. W. Kostena navázala studie [19]. Ta byla zaměřená na rozšíření vztahů o koeficienty pro pěnové a textilní materiály, jako jsou tkaniny nebo netkané textilie. Byly také zmiňovány různé aplikace ve stavebnictví např. podhledy, stěny.

Y. Shoshani a G.Rosenhouse ve své práci studovali akustickou pohltivost netkaných textilií, které byly skládány do tvaru „harmoniky“. Experimentovali s odlišnými úhly β . Pro svou studii používal různé druhy textilních vláken (bavlněná, Kevlar 29, PP, PAN) o různých plošných hmotnostech výsledné netkané textilie [18].

Studie [21] se zabývá určováním činitelem zvukové pohltivosti, přičemž naměřené hodnoty se vynesou do grafu a pomocí extrapolace je zjištěn koeficient. Důraz je poté kladen na šířku vlákané vrstvy (viz. obr. 15,16), plošnou hmotnost a na parametry samotných vláken (druh, jemnost, tvar).

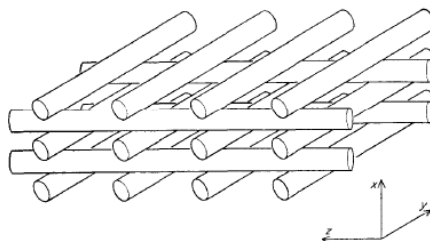


Obr.15 Graf činitele zvukové pohltivosti pro 5 cm vrstvu[21].



Obr.16 Graf činitele zvukové pohltivosti pro 2,5 cm vrstvu [21].

Akustickým chováním vláknitých materiálů se zabývala N. Voronina [22]. Výzkum byl prováděn experimentálně, kdy byly hledány konstanty pro specifický druh materiálu o daném průměru a hustotě. Na tuto práci navázala novým empiricky odvozeným vztahem pro vláknité materiály, umístěné v pružném rámu. Tento model může být používán pro získání hodnot impedance, a zvukové pohltivosti materiálových vrstev za předpokladu, že známe hodnoty průměru a hustoty vláken [23]. Šířením zvuku přes vlákenný materiál se zabývá také studie [24]. Vlákenný materiál je idealizovaný jako pravidelně se střídající vrstvy válcovitých vláken (viz obr. 17). Je zjištěno, že hlavní vliv na pohltivost má velikost průměru a orientace vláken. Napětí v uchycovacím rámu hraje malou roli.



Obr. 17 Schéma představy Idealizovaného vlákenného materiálu. Čerpáno z [24].

V roce 1997 byly zkoumány akustické vlastnosti porézních membrán J. KANGEM a H. V. FUCHSEM. Důležitou vlastností pro pohltivost membrán je velikost pórů a vzdálenost membrány od pevné zdi. Práce je zaměřena jak na jednu vrstvu membrány, tak se i experimentuje s dvěma vrstvami, což má za následek rozšíření kmitočtového rozsahu absorpce zvuku [26].

Absorpcí zvuku mikroperforovaných tlumících (MPP) panelů se zabývá studie [25]. MPP je sloužen z vlákenné vrstvy a porézní membrány. Práce sleduje vliv pohltivosti ve více ohledech. Vliv plošné hmotnosti, absorpční ztráty v MPP panelu a také zvažuje vliv a vzdálenost zadní pevné stěny.

Práce [27] se zabývá problematikou podélného šíření vln a jejich ohybem v nanovlákně, bylo zjištěno, že povrchové napětí hraje podstatnou roli při šíření vln nanovlákeny, které mají velmi malé průměry.

Podrobně se výzkumem nanovláken v závislosti na průměr a plošnou hmotnost ve své práci zabývá Mohrová J. prověřuje vliv průměru nanovláken (190, 240, 320 nm). Z uvedených grafů je zřejmé, že se vzrůstajícím průměrem klesá činitel zvukové

pohltivosti. V další části experimentu je uvedena závislost plošné hmotnosti na činitel zvukové pohltivosti. Z naměřených dat resp. grafu je patrný vliv tohoto parametru [31].

Vliv koncentrace na průměr vláken

Práce [28] se zabývá výzkumem vlivu koncentrace na průměr vláken při elektrostatickém zvlákňování. Ke zvlákňovanému byl použit roztok polyakrylonitrilu, který byl pomocí injekčního zařízení o průměru 7 mm a dávkováním 2,8 ml/h elektrostaticky zvlákňován. Napětí se pohybovalo kolem 20 kV a vzdálenosti mezi špičkou kapiláry a kolektorem byla 8 cm. Experiment se vztahoval na koncentrace 9, 12, 15, 18 % PAN, mezi nimiž došlo přibližně k lineárnímu průběhu přímky v závislosti na průměru vláken. Práce také zahrnuje prostudování závislosti viskozity na koncentraci, kde bylo měřením potvrzeno, že se vzrůstající koncentrací viskozita roste.

V roce 2000 se kolektiv vědců zabýval, stejně jako v předešlém odstavci, vlivem koncentrace polymerního roztoku na průměr vlákna. K experimentu byl využit polymer PEO ředěný vodou na 7 a 10 %. Z dvou grafů četnosti je patrné, že největší četnost nanovláken 7 % roztoku PEO se nachází v oblasti 0,25 μm a v případě 10 % je to oblast 0,4 μm [29].

Změnou průměru vláken se komplexně zabývá studie [30], která poukazuje jednak na vliv koncentrace, ale také na velikosti napětí, vzdálenost mezi kapilárou a protielektrodou a množství dávkovaného polymerního roztoku. V experimentu byl využit roztok nylonu 6 a kyseliny mravenčí.

Experimentální část

Cíl

Tato práce je zaměřena především na studii frekvenční závislosti činitele zvukové pohltivosti nanovláknenných membrán, ve vztahu k jejich parametrům. Parametry je myšleno odlišné průměry nanovláken v membráně, jejichž změna byla vyvolána změnou koncentrací roztoků PVA. Z toho tedy vyplývá i další úkol, podrobit nanovláknenné membrány obrazové analýze na elektronovém mikroskopu a proměřit průměry vláken. Posledním dílčím úkolem bylo naměřit viskozitu, a tím ověřit její závislost na koncentraci PVA roztoků.

Přehled experimentu

Pro tyto výše zmiňované cíle a pro získání dat musely být provedeny tyto kroky.

- Vyrobeny s \acute rie elektrostaticky zvlákn \acute ných nanovlákn \acute ných vrstev o r \acute zn \acute ch pr \acute mr \acute ch vl \acute ken, ale p \acute bl \acute žn \acute e stejn \acute e plošn \acute e hmotnosti,
- Ihned po zvlákn \acute ování byla roztok \acute u m \acute řena viskozita,
- u vrstev byla ov \acute řována v \acute žením plošn \acute a hmotnost a m \acute řením pr \acute mr \acute y vl \acute ken,
- z nanovlákn \acute ných vrstev byly vyráb \acute ny kruhov \acute e membr \acute ny o rozm \acute ru 29 mm,
- kruhov \acute e membr \acute ny byly podrobeny m \acute ření na \acute initel zvukov \acute e pohltivosti pomocí dvou mikrofonom \acute v \acute impedan \acute n \acute trubice,
- vyhodnocení nam \acute řen \acute ch dat.

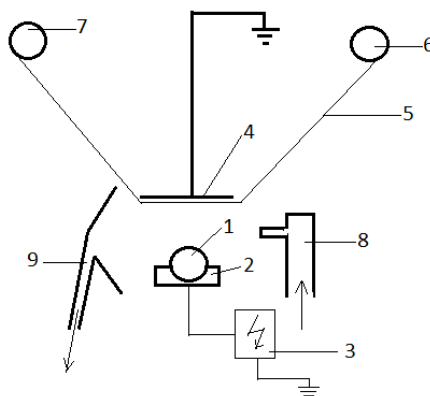
5. VÝROBA KRUHOVÝCH MEMBRÁN

Příprava roztok \acute u

Bylo p \acute praveno osm roztok \acute u od 9 % PVA a \acute po 16 % PVA (viz. P \acute řiloha 1). K dispozici byl 16% roztok PVA. Byl p \acute praven i roztok 8%, ale pro jeho špatnou zvlákn \acute itelnost na laboratorním za \acute řizení „nanospider“ se v dalš \acute ch f \acute z \acute ích experimentu tato koncentrace nepoužívala. D \acute le se do polymern \acute ho roztoku p \acute řidávala pro vyšší odolnost proti vlhkosti a následnou manipulaci síťovací \acute inidla. Konkr \acute tn \acute e se jednalo o t \acute ři hmotnostní procenta 40% glyoxalu a \acute tyři hmotnostní procenta 85 % kyseliny fosfore \acute n \acute . Takto p \acute praven \acute e roztoky byly m \acute seny na rotačním mechanick \acute m m \acute chadle p \acute ři 1300 ot./min. M \acute chání prob \acute halo po dobu 5 minut. Pot \acute e se roztoky nechaly dvacet \acute tyři hodin odstát a po t \acute to dob \acute docházelo ke zvlákn \acute ování. Ihned po zvlákn \acute ování se u roztok \acute u m \acute řila viskozita.

Výroba nanovlákn \acute né vrstvy

Tato operace se odehrávala na laboratorním za \acute řizení „nanospider“. Jedná se o proces elektrostatick \acute ho (viz. kapitola 2.1). Schéma tohoto laboratorního za \acute řizení je zobrazeno na obr. 18.



Obr. 18 Schéma laboratorního zařízení „nanospider“. 1-váleček, 2- vanička s roztokem polymeru, 3- zdroj vysokého napětí, 4- protielektroda, 5- podkladová textilie, 6- přívod podkladové tex., 7- odtahový válec, 8- přívod klimatizovaného vzduchu, 9- odvětrání.

Nastavení stroje pro zvlákňování:

- Napětí: 50-54 kV, 0,2- 0,3 mA,
- váleček: délka 33 cm, průměr 2 cm, rychlost otáčení 1,5 ot. /min,
- vzdálenost povrchu válečku od protielektrody 100 mm,
- rychlost pohybu podkladové textilie (viz. tab. 2).

Tab. 2. Přehled rychlostí odvodu podkladové textilie, v závislosti na docílení podobné plošné hmotnosti ($17 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$).

Koncentrace [%]	Počet průchodů	Rychlost [m/min]	+Počet průchodu	Rychlost [m/min]
9	3	0,05	1	0,07
10	2	0,05	1	0,07
11	1	0,05	1	0,047
12	1	0,05	1	0,075
13	1	0,04	-	-
14	1	0,047	-	-
15	1	0,044	-	-
16	1	0,039	-	-

Zvlákňování bylo prováděno za těchto klimatických podmínek:

- $30 \pm 1 \%$ relativní vlhkost,
- $24 \pm 1 ^\circ\text{C}$.

Takto vyrobený materiál byl po zvlákňování vyjmut ze stroje a naveden do horkovzdušné komory, jejíž nekonečný pás se pohyboval rychlostí 0,15 m/min, délka komory je 1 m a teplota uvnitř komory byla 140 °C. Zesíťování bylo provedeno pro zvýšení odolnosti vůči vlhkosti. Došlo k propojení polyvinylalkoholových řetězců v 3D strukturu (viz. kapitola 2.3.1).

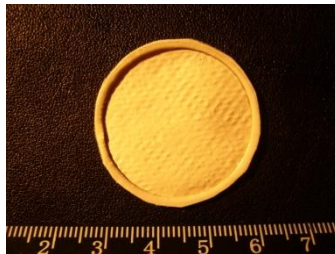
Vyroběný a zesíťovaný materiál byl poté vážen na laboratorních vahách s přesností na čtyři desetinná místa. Provádělo se osm měření, čtyři vzorky 100 x 100 mm a pro nedostatek materiálu zbylé čtyři vzorky 50 x 50 mm. Statistické hodnoty jsou uvedeny v tab. 3. Jednotlivé naměřené hmotnosti jsou uvedeny v příloze 4.

Tab. 3 Statistické hodnoty naměřených plošných hmotností. V horní části tabulky nanovlákněné vrstvy uplatněné při ověřování vlivu „průměru vlákna“ na činitel zvukové pohltivosti. V dolní části tabulky nanovlákněné vrstvy uplatněné při ověřování vlivu „plošné hmotnosti“ na činitel zvukové pohltivosti.

Koncentrace [%]	průměrná hodnota [g/m ²]	směrodatná odchylka [g/m ²]	Minimum [g/m ²]	Maximum [g/m ²]
9	17,48	0,46	16,73	18,07
10	17,31	0,64	16,09	18,03
11	17,22	0,52	16,68	18,12
12	16,82	0,58	16,13	17,84
13	16,95	0,51	15,86	17,48
14	17,43	0,55	16,69	18,56
15	16,91	0,64	15,55	17,56
16	16,68	0,50	15,93	17,53
Koncentrace [%]	průměrná hodnota [g/m ²]	směrodatná odchylka [g/m ²]	Minimum [g/m ²]	Maximum [g/m ²]
10	17,31	0,64	16,09	18,03
10	25,91	0,46	25,16	26,52
10	14,05	0,73	12,84	15,12

Ze zváženího materiálu, jehož průměrná hodnota hmotnosti se shodovala s požadavkem plošné hmotnosti 17 ± 1 g, bylo možné přistoupit k samotné výrobě kruhových membrán. Nejprve se z tvrdého papíru o výšce cca 0,5 mm vystřihly čtverce 50 x 50 mm. Z těchto připravených čtverců se pomocí kruhové raznice, na kterou působil tlakem lis, vyrazily kruhy o průměru 29 mm. Po okraji kružnice bylo nanášeno disperzní pojivo, které se nechalo mírně zavadnout, z důvodu neporušení materiálu vlhkostí. Na vyrobeném a zesíťovaném materiálu se vyhledala rovná (vhodná) místa na,

které se nalepily čtvercové opory s 29 mm otvorem. Poté došlo k odstranění podkladové textilie spun- bond a zastřížení čtvercového tvaru na kruhové mezikružší s okrajem cca 2 mm (viz. obr.19) pro snadné vkládání do dvou- mikrofónové impedanční trubice.



Obr. 19 Finální podoba vyrobené membrány.

6. Výroba mykané vrstvy

Výroba mykané vrstvy byla rozdělena do několika kroků. Nejprve byly naváženy jednotlivé komponenty pro vlákennou směs, v poměru 55 % polyesterových vláken a 45% bikomponentních vláken (polyester-kopolyester). Materiál byl předkládán stroji pomocí dávkovacího nekonečného pásu. Materiál z důvodu dobrého promísení a vytvoření homogenní směsi prošel strojem třikrát. Výsledná promísená pavučina byla navedena do příčného vertikálního kladeče. Poté bylo vytvořeno skladem pavučiny vlákenné rouno. Toto rouno bylo nanášeno na ocelový, perforovaný plech kde na okrajích a uprostřed, se pomocí závitů a matek nastavila požadovaná výška vrstvy (10 mm). Materiál se přiklopil druhou částí perforovaného plechu a zajistil matkami. Poté došlo ke vložení do horkovzdušné komory, kde materiál byl vystaven po dobu 5 minut teplotě 150 °C.

Po vyjmutí došlo k pozvolnému vychladnutí, perforované plechy rozšroubovány a zpevněná vrstva vyjmuta. Z této vrstvy byly pomocí lisu a raznice (29 mm) vyraženy kruhové útvary, o plošné hmotnosti 372,13 g/m², které byly následně společně s kruhovými nanovláknými membránami měřeny na dvou-mikrofónové impedanční trubici, na činitel zvukové pohltivosti.

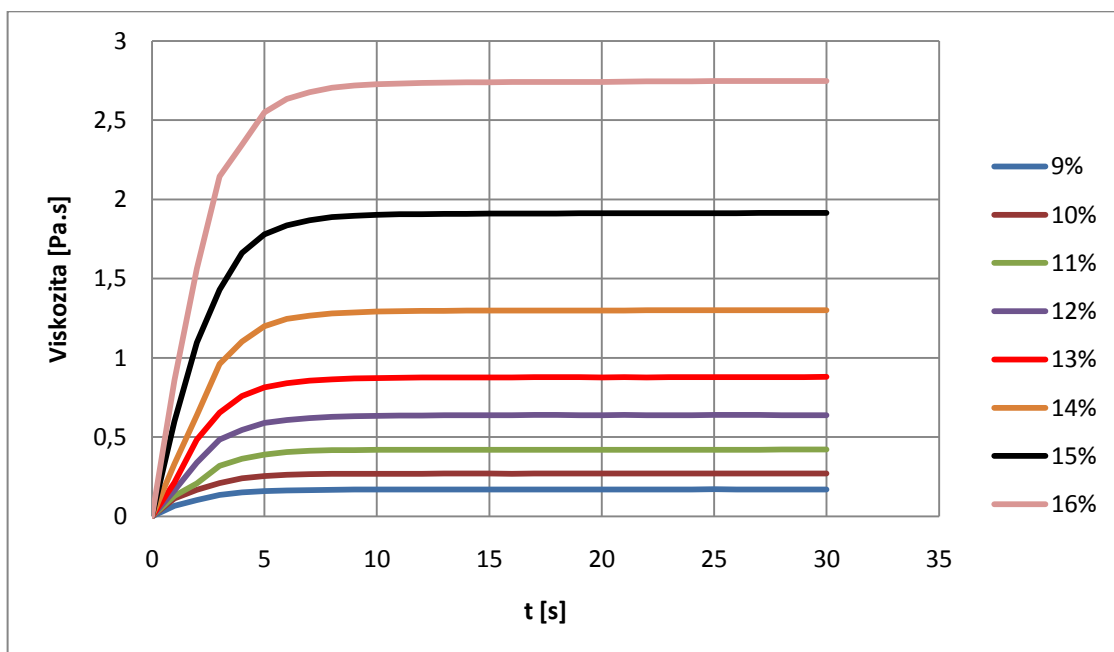
Parametry použitých vláken

- a) Polyesterová vlákna byla ve směsi zastoupena poměrem 55 %. Jemnost těchto vláken je 6,7 dtex a délka 85 mm.
- b) Bikomponentní vlákna byla zastoupena ve směsi 45 %. Jedná se o typ vláken „jádro plášť“, kde obal je tvořen kopolyesterem a jádro polyesterem. Jemnost vláken je 5,2 dtex a délka 50 mm.

7. VÝSLEDKY A DISKUZE

7.1 Vliv koncentrace roztoku PVA na viskozitu

Jak už bylo zmiňováno v teoretické části (viz. kapitola 3.), je viskozita zjednodušeně definovaná jako „odpor vůči toku“. Práce se zabývá proměřením roztoků PVA společně se síťovacími činidly, o koncentracích 9 -16 %. Měření probíhalo na rotačním viskozimetru, ihned po elektrostatickém zvlákňování. Byla měřena dynamická viskozita pomocí senzoru „C 35/1 Ti“, ten se otáčel konstantními otáčkami 100 ot. /min po dobu 30 s. Každý roztok byl změřen třikrát a výsledná viskozita je průměrem ze tří měření. V grafu 1. Jsou znázorněny průběhy křivek jednotlivých koncentrací z prováděného měření.



Graf 1. Vliv koncentrace roztoků PVA na viskozitu.

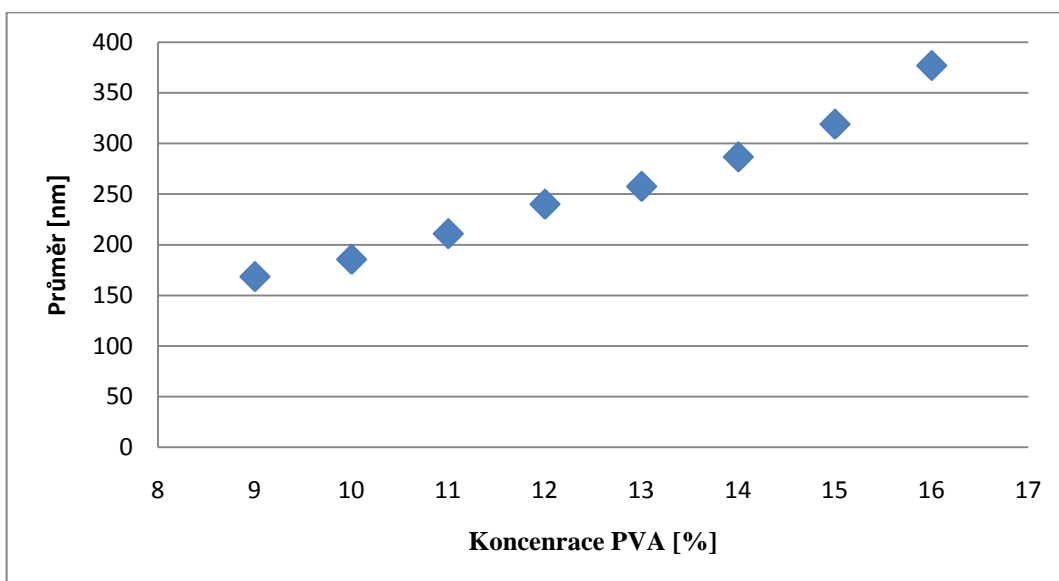
Z Grafu 1. je zřejmé, že viskozita, se zvyšující se koncentrací zaznamenala exponenciální růst. To je způsobeno zvýšením počtu makromolekul v roztoku, a tím nárůstu mezimolekulárních interakcí. Pro tuto práci byly kritické především dvě koncentrace, a to 9 % PVA, kde viskozita byla nízká 0,170 Pa.s, a zvlákňování na laboratorním zařízení „nanospider“ probíhalo místo obvyklých 50 kV až při 53,8 kV. Druhou kritickou koncentrací byla naopak 16 % PVA, kde viskozita byla naopak vysoká 2,752 Pa.s, a elektrostatické zvlákňování probíhalo při 54 kV. Základní statistické údaje jsou v příloze 3.

7.2 Vliv koncentrace na průměr vláken

Tato kapitola je zaměřena na vliv koncentrace roztoku PVA na průměr nanovláken. Průměr byl ovlivňován pouze koncentrací, jelikož všechny ostatní parametry zvláknování byly zachovány, v již zmiňovaných parametrech zvláknování (klimatické podmínky, napětí, vzdálenost válečku a kolektoru).

Koncentrace roztoku a viskozita jsou dva úzce související faktory, zvýšením koncentrace roztoku má vždy za následek zvýšení viskozity a pokles koncentrace roztoku vyústí v pokles viskozity. Z článků [28,29,30], kde jako polymery byly využity (PEO, PAN, PA 6) vyplývá, že koncentrace má zásadní vliv na průměr vláken. U každého ze zmiňovaných tří polymerů došlo k nárůstu průměru nanovláken, se zvyšující se koncentrací.

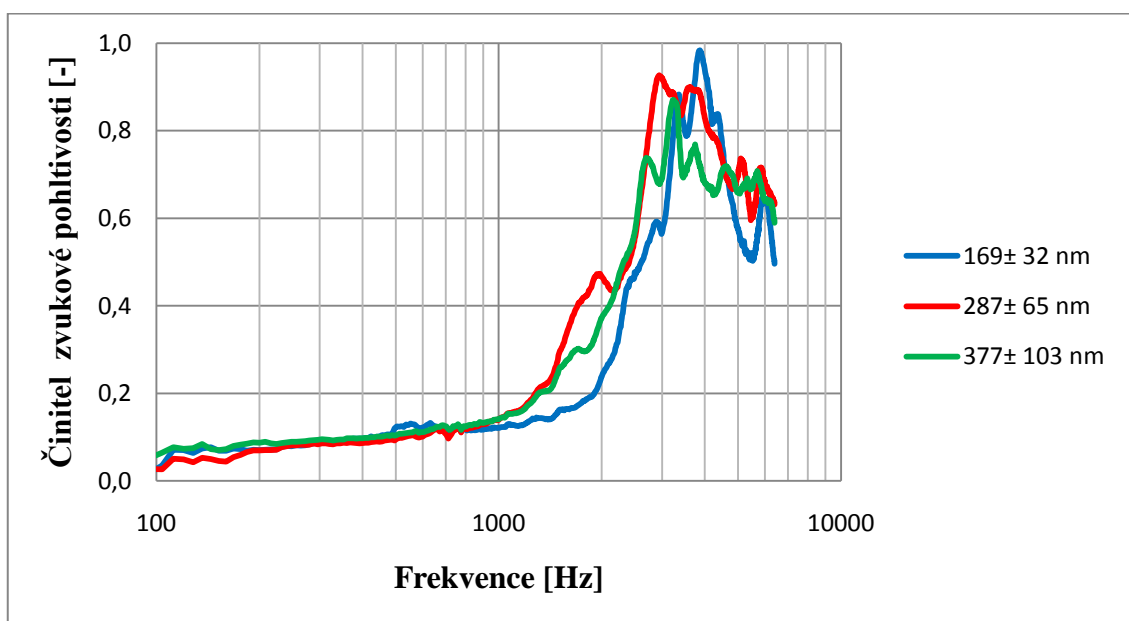
Tato práce se zabývala koncentrací roztoku PVA a to v rozmezí od 9 % až po 16 % (viz graf. 2). Snímkování vrstev se provádělo na elektronovém mikroskopu „PHENOM“. Průměry byly měřeny pomocí obrazového analyzátoru „LuciaTMG“. Experiment ukazuje, že průměr vláken je silně ovlivněn koncentrací, resp. Viskozitou. Z grafu 2. je patrné, že nárůst průměru vláken je téměř lineární. Podle předpokladu nejmenší průměr vlákna vykazovala koncentrace 9 % PVA, jejíž hodnota byla 168,6 nm. Oproti tomu nejvyšší průměr vláken byl zaznamenán při měření průměrů 16 % roztoku PVA, kde byla naměřena hodnota 376,75 nm. V příloze 2. jsou uvedeny základní statistické údaje.



Graf 2. Závislost koncentrace (PVA 9-16 %) na průměr vláken.

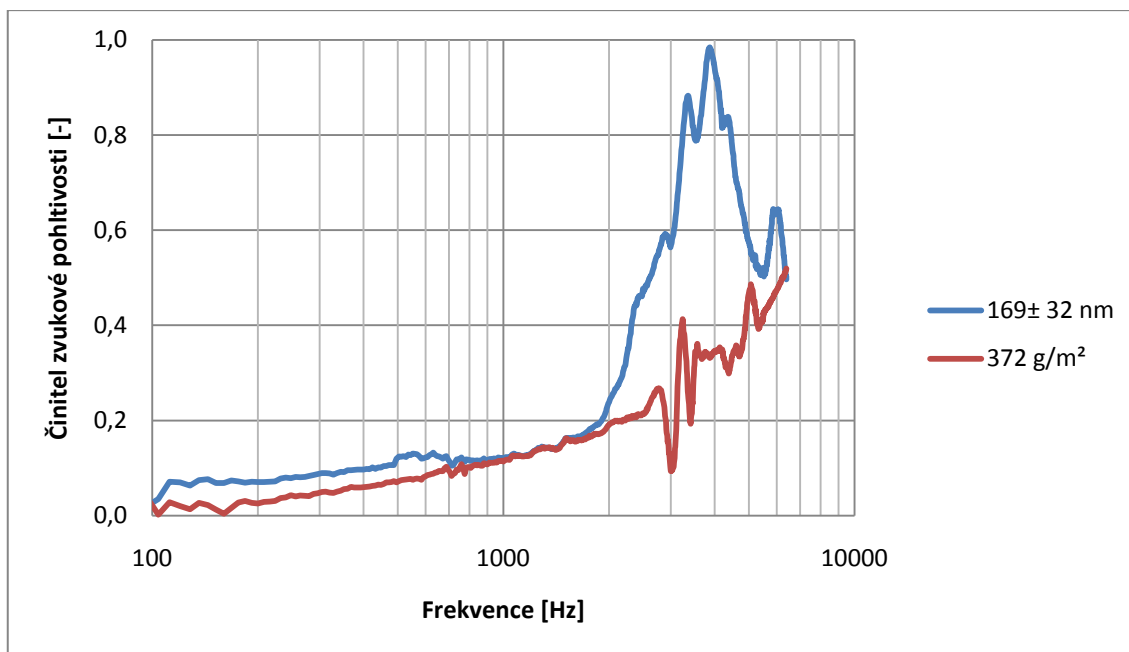
7.3 Vliv průměru nanovláken na činitel zvukové pohltivosti

Tato kapitola je zaměřená na vliv průměru nanovláken, na činitel zvukové pohltivosti. Měření této závislosti probíhalo na dvou mikrofonové impedanční trubici. Trubice byla nastavena na vzdálenost membrány od odrazivé stěny 10 mm. Tento prostor byl vyplněn mykaným, vlákenným materiálem o průměru 29 mm a výšce 10 mm. Mykaná vrstva sloužila v akusticky pohltivém systému jako pružina pro membránu o průměru 29 mm.



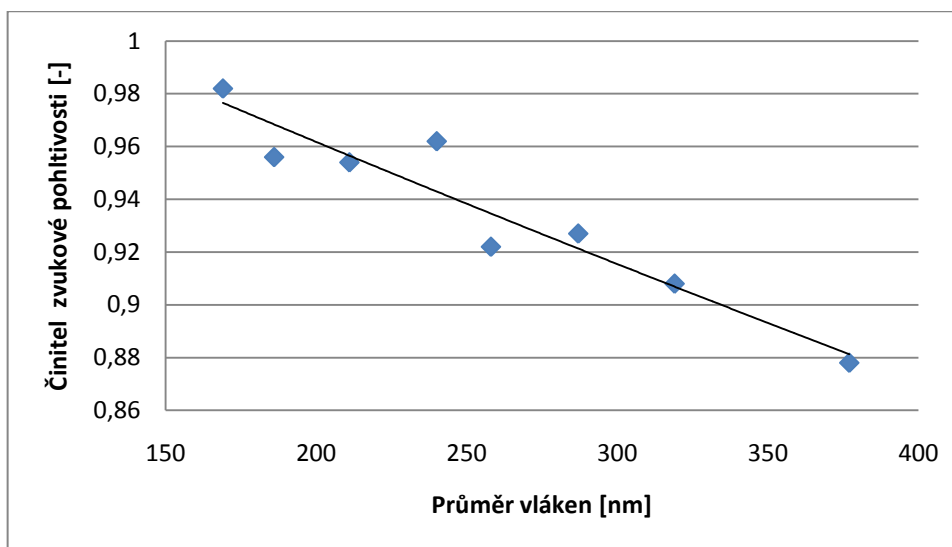
Graf 3. Grafické znázornění křivek činitele zvukové pohltivosti pro průměry vláken 169; 287; 377 nm.

Z grafu 3. je vidět závislost průměru nanovláken, ve vztahu k činiteli zvukové pohltivosti. Se snižujícím se průměrem vláken se zvyšovala akustická pohltivost. To mohlo být způsobeno menší tuhostí nanovláken, a tím i lepší rezonanční vlastností jednotlivých vláken. Naopak, vyšší průměr 376,75 nm, dosahoval nižší hodnoty činitele zvukové pohltivosti, který se vrcholem blížil k $\alpha = 0,9$. Mezi jednotlivými křivkami jsou však jen malé rozdíly. Tento jev přisuzuju použití mykané vrstvy, která vyplnila prostor mezi odrazivou stěnou a membránou a zastávala činnost pružiny membrány. V příloze 5. Jsou uvedeny všechny koncentrace, resp. průměry vláken a jejich závislost na činitel akustické pohltivosti.

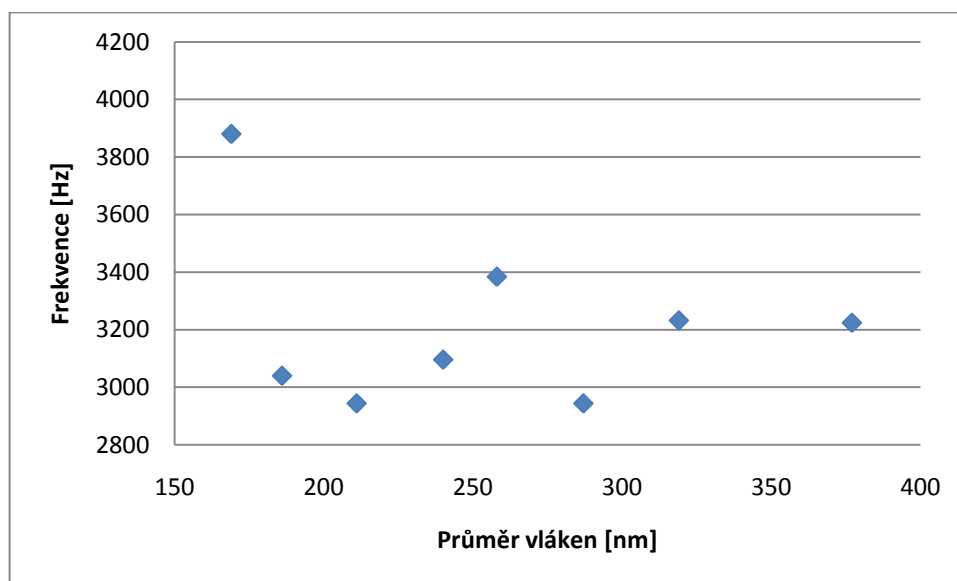


Graf 4. Porovnání činitele zvukové pohltivosti samotného mykaného materiálu o plošné hmotnosti 372 g/m² a nanovláknenné membrány o průměru vláken 169 nm, měřené společně s touto mykanou vrstvou.

Z grafu 4. Je zřejmé, že přidáním nanovláknenné vrstvy k mykanému materiálu se zvýšil činitel zvukové pohltivosti, a to především ve frekvencích od 2 kHz až po 6,4 kHz. Domnívám se, že tento nárůst je způsoben, uplatněním jednak přeměny zvukové energie na energii tepelnou (viz. porézní materiály) a přeměnou akustické energie na energii kinetickou (viz. rezonační schopnost membrán).



Graf 5. Závislost maximální hodnoty činitele zvukové pohltivosti na průměr vláken.



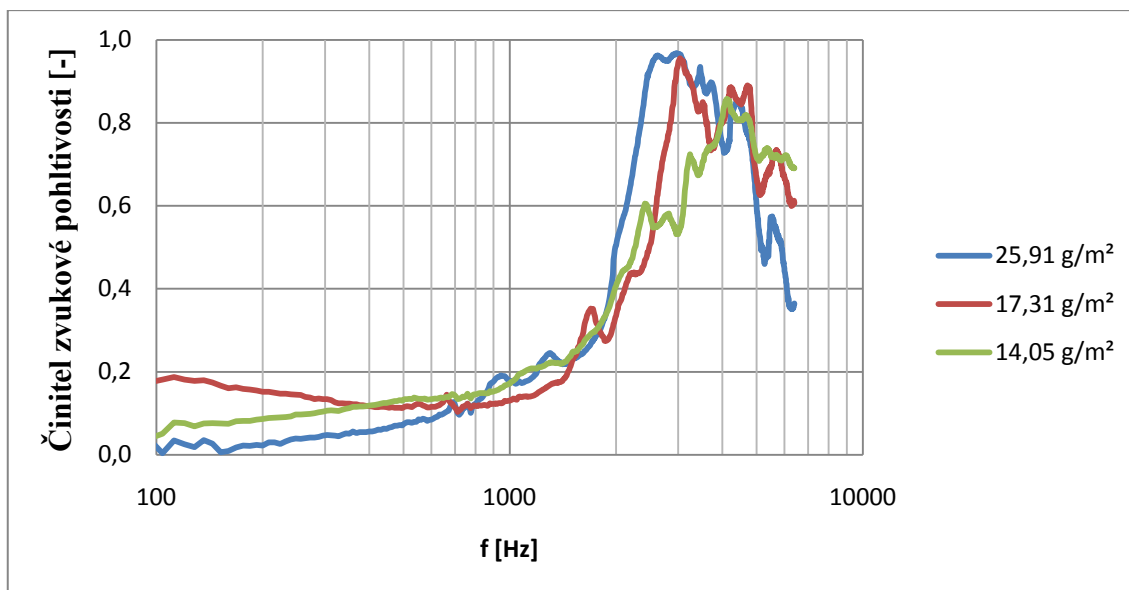
Graf 6. Závislost frekvenčního maxima na průměr vláken

Graf 5. je zaměřen pouze na maximální hodnoty činitele zvukové pohltivosti, vůči průměrům vláken. Je zřetelné, že se snižujícím se průměrem vláken se zvyšovalo maximum činitele zvukové pohltivosti. To mohlo být způsobeno menší tuhostí vláken a posléze i lepší rezonanční vlastností celé membrány.

Z grafu 6. z důvodu velkých výkyvů nevyplývá žádná závislost frekvenčního maxima ve vztahu k průměru vláken.

7.4 Vliv plošné hmotnosti na činitel zvukové pohltivosti

Tato kapitola se zaměřuje, na vliv plošné hmotnosti nanovláknenné membrány, velikost činitele zvukové pohltivosti v závislosti na frekvenci zvuku. V tomto testu byly proměřeny tři plošné hmotnosti, a to 14,05; 17,31; 25,91 g/m² vyrobené z 10 % roztoku PVA o téměř stejných průměrech vláken 183,76 nm, 185,62 nm a 186,02 nm, ve stejném pořadí jako hmotnosti vrstev. Pro měření byly použity kruhové membrány o velikosti 29 mm, opatřené kruhovým, papírovým mezikružím z tvrdého papíru. Tyto membrány se poté měřily na dvou mikrofonové impedanční trubici, ve frekvenčním spektru od 8 Hz až do 6,4 kHz.



Graf 7. Vliv plošné hmotnosti na číselník zvukové pohltivosti, pro plošné hmotnosti 14,05; 17,31; 25,9 g/m².

Z následujícího grafu 7., naměřených hodnot při vzdálenosti odrazivé stěny 10 mm, vyplněné mykanou vrstvou, je patrný vliv plošné hmotnosti nanovlákněného materiálu na číselník zvukové pohltivosti. Vrchol vzorku 25,91 g/m² se posunul směrem k nižším frekvencím, zatímco membrána 14,05 g/m² má vrchol zhruba o 1 kHz směrem k vyšším frekvencím, i se snížila celková pohltivost.

8. Závěr

Bakalářská práce byla zaměřena na činitel zvukové pohltivosti, ve vztahu ke zkoumaným parametrům. Hlavním parametrem byl průměr nanovláken a doprovodným parametrem byla plošná hmotnost. Cílem této práce bylo analyzovat a vyhodnotit výše zmiňované parametry, ve vztahu k činiteli akustické pohltivosti.

V teoretické části jsou obecně popsány mechanismy pohlcování zvuku pro porézní materiály a membrány. Dále je zde vysvětlen pojem „činitel zvukové pohltivosti“. T teoretické části také nalezneme teoretické poznatky, týkající se výroby nanovláken, resp. elektrostatického zvlákňování.

V praktické části byly realizovány jednotlivé kroky experimentu pro jeho komplexní objasnění.

Prvním zkoumaným faktem bylo prostudování vlivu koncentrace roztoku PVA (9-16 %) na viskozitu. Toto měření potvrdilo exponenciální růst viskozity se zvyšující se koncentrací. Dalším krokem bylo prostudování vlivu koncentrace na průměr nanovláken. Bylo měřeno osm roztoků, o koncentracích 9-16 % PVA, u kterých byla zřetelně viditelná téměř lineární, vzrůstající závislost průměru vláken, kde se zvyšující se koncentrací průměr vzrůstal. Třetím krokem bylo prostudovat vliv průměru vláken na činitel zvukové pohltivosti. Tento vliv prokázal, že se zvyšujícím se průměrem se snižoval činitel zvukové pohltivosti. To mohlo být způsobeno menší tuhostí nanovláken, a tím i lepší rezonanční vlastností jednotlivých vláken v membráně, posléze celé membrány. Posledním krokem experimentu bylo prostudovat vliv plošné hmotnosti na činitel zvukové pohltivosti. Z grafu byl tento vliv prokázán, kdy se zvyšujícím plošnou hmotností nanovláknenné membrány vzrůstal i činitel zvukové pohltivosti.

Pro další výzkum v této oblasti „vlivu průměru nanovlákenvláken na činitel zvukové pohltivosti“, bych doporučil zabývat se průměry nanovlákenvláken od 400 nm – 1 μ m.

9. PUŽITÁ LITERATURA

- [1] BERGLUND, B., MASCHKE, CH., Hluk a zdraví, Praha : Fortuna, 2002. 28 s.
ISBN 82-7071-185-X
- [2] LEPIL, O., Fyzika pro gymnázia. Mechanické kmitání a vlnění, Praha:
Prometheus, 2008. 135s. ISBN 978-80-7196-216-8 .
- [3] KRŇÁK, M., Akustické obklady, Praha: Vúzort, 1971. 254 s.,
- [4] NOVÝ, R., Hluk a chvění, Praha: ČVUT, 2000. 389 s., ISBN 80-01-02246-3.
- [5] KOLMER, F., KYNCL. J., Prostorová akustika, Praha: SNTL, 1982. 242 s.
- [6] ŠKVOR, Z., Akustika a elektroakustika, Praha: Academia, 2001, 527 s., ISBN
80-200-0461-0
- [7] PAULÍN, Z., Zázraky zvuku, Praha : Práce, 1962. 176 s.,
- [8] NOVÁK, J., KALINOVÁ, K., MĚŘENÍ AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI,
[cit. 21.3. 2011], dostupné na: [http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/
documents/12241-BOZEK/publikace/2004/DIAGO-Mereni%20akusticke%20
pohltivosti-No-Ka.pdf](http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241-BOZEK/publikace/2004/DIAGO-Mereni%20akusticke%20pohltivosti-No-Ka.pdf)
- [9] Měření zvukové pohltivosti materiálů, [cit. 21.3. 2011] dostupné na:
http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_lab_02.pdf
- [10] RŮŽIČKOVÁ, J., Elektrostatické zvlákňování nanovláken, Liberec: TUL, 2004,
54 s., ISBN 80-7083-867-1
- [11] Electrospinning, [cit. 18.3. 2011] dostupné na:
<http://www.che.vt.edu/Wilkes/electrospinning/electrspinning.html>
- [12] JIRSAK, O., SANETRNIK, F., LUKAS, D., KOTEK, V., MARTINOVA, L.,
CHALOUPEK, J.: A Method of Nanofibres Production from a Polymer
Solution Using Electrostatic Spinning and a Device for Carrying Out the
Method. European Patent Office, US20060290031 (WO2005024101).
[cit.12.3. 2011]. Dostupné na: [http://www.google.com/patents/about?id=0DqZA
AAAEBAJ&dq=jirs%C3%A1k](http://www.google.com/patents/about?id=0DqZA
AAAEBAJ&dq=jirs%C3%A1k)

- [13] JIRSÁK, O., KALINOVÁ, K., Netkané textilie, Liberec: TUL
- [14] STOKLASA, K., Makromolekulární chemie I., UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ, 2005, 106 s.
- [15] ZHANG, Y., ZHU, P. C., EDGREN, D., Crosslinking reaction of poly(vinyl alcohol) with glyoxal *Journal of Polymer Research*, 2009, Vol. 17, no. 5, s. 725-730.
- [16] MILITKÝ, J., Textilní vlákna, TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI, 2002, 238 s.
- [17] MAREČEK, A., HONZA, J., Chemie pro čtyřletá gymnázia, Olomouc: Olomouc s.r.o., 2005, 250 s., ISBN 80-7182-057-1.
- [18] SHOSHANI, Y., ROSENHOUSE, G. Noise- Insulating Blankets Made of Textile. *Applied Acoustics*. 1992, vol. 35, no. 2, s. 129 – 138.
- [19] SHOSHANI, Y., YAKUBOV, Y. Numerical assessment of maximal absorption coefficients for nonwoven fiberwebs. *Applied Acoustics*. 2000, vol.59, no. 1, s. 77-87.
- [20] ZWIKKER, C., KOSTEN, C. W., Sound absorbing materials. *Journals Elsevier*, New-York, 1949
- [21] DELANY, M. E., BAZLEY, E. N. Acoustical properties of fibrous absorbent materials. *Applied Acoustics*, 1970, Vol. 3, no. 2, s. 105-116.
- [22] VORONINA, N. Acoustic properties of fibrous materials. *Applied Acoustics*, 1994, Vol. 42, no. 2, s 165-174.
- [23] VORONINA, N. Improved empirical model of sound propagation through a fibrous material. *Applied Acoustics*, 1996, Vol.48, no.2, s. 121-132.
- [24] SIDES, D. J., ATTENBOROUGH, K., MULHOLLAND, K. A. Application of a generalized acoustic propagation theory to fibrous absorbents, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 19, no. 1, s. 49-64.
- [25] SAKAGAMI, K., MORIMOTO, M., Yairi, M. A note on the relationship between the sound absorption by microperforated panels and panel/membrane-type absorbers, *Applied Acoustics*, 2009 Vol. 70, No. 8, s. 1131-1136.

- [26] KANG, K., FUCHS, H.V., Predicting the absorption of open weave textiles and micro-perforated membranes backed by an air space. *Journal of Sound and Vibration*, 1999, Vol. 220, no. 5, s. 905-920.
- [27] WU, X., DZENIS, Y., A., Wave propagation in nanofibers, *Journal of Applied Physics*, 2006, vol. 100, no. 12
- [28] HE, J., H., WAN, Y., Q., YU, Y., J., Effect of Concentration on Electrospun Polyacrylonitrile (PAN) Nanofibers, *Fibers and Polymers* 2008, Vol.9, No.2,s. 140-142
- [29] DEITZEL, J., M., KLEINMEYER, J., HARRIS, D., BECK TAN, N.,C., The effect of processing variables on the morphology of electrospun nanofibers and textiles, *polymer* 2001, Vol. 42, no. 1,s. 261-272
- [30] CHOWDHURY, M., STYLIOU, G., Effect of experimental parameters on the morphology of electrospun Nylon 6 fibres, *International Journal of Basic & Applied Sciences*, 2010, Vol. 10 No. 06, s.116-131.
- [31] MOHROVÁ, J., Impact the Parameters by Production of Thin PVA Membranes Designed for Absorption of Sonic Waves, *Recent Advances in Textile Composites*, 2010, s. 202-209.

SEZNAM PŘÍLOH

1. Receptura PVA roztoků (9-16%).....	46
2. Statistické údaje průměrů vláken	47
3. Statistické údaje viskozit roztoků.....	47
4. Naměřené plošné hmotnosti	48
5. Vliv průměru nanovláken na činitel zvukové pohltivosti	49
6. Vliv koncentrace na průměr vlákna	50

1. Receptura PVA roztoků

Pro 100 ml výsledného roztoku:

9 %

16 % PVA56,25 g
H₂O.....43,75 ml
40 %-ní glyoxal.....0,213 ml
85 %-ní kyselina fosforečná0,210 ml

10 %

16 % PVA.....62,5 g
H₂O.....37,5 ml
40 %-ní glyoxal.....0,237 ml
85 %-ní kyselina fosforečná0,234 ml

11 %

16 % PVA.....68,75 g
H₂O.....31,25 ml
40 %-ní glyoxal.....0,260 ml
85 %-ní kyselina fosforečná0,257 ml

12 %

16 % PVA.....75 g
H₂O.....25 ml
40 %-ní glyoxal.....0,284 ml
85 %-ní kyselina fosforečná0,280 ml

13 %

16 % PVA.....81,25 g
H₂O.....18,75 ml
40 %-ní glyoxal.....0,308 ml
85 %-ní kyselina fosforečná0,304 ml

14 %

16 % PVA.....87,5 g
H₂O.....12,5 ml
40 %-ní glyoxal0,332 ml
85 %-ní kyselina fosforečná0,327 ml

15 %

16 % PVA.....93,75 g
H₂O.....6,25 ml
40 %-ní glyoxal0,355 ml
85 %-ní kyselina fosforečná.....0,350 ml

16 %

16 % PVA.....100 g

H₂O.....--- ml

40 %-ní glyoxal.....0,379 ml

85 %-ní kyselina fosforečná0,374 ml

2. Statistické údaje průměrů vláken

Tab. 4 Statistické údaje průměrů vláken

Koncentrace [%]	Průměr [nm]	Směrodatná odchylka [nm]	Minimum [nm]	Maximum[nm]
9	168,6	32,24	105,07	281,9
10	185,62	39,54	105,07	294,22
11	210,9	38,24	122,52	310,27
12	240,07	54,05	147,11	420,31
13	257,55	57,7	132,91	418,72
14	286,65	64,58	169,4	462,76
15	318,96	77,76	177,62	537,41
16	376,75	102,48	214,27	658,01

3. Statistické údaje viskozit roztoků

Tab. 5 Statistické údaje viskozit roztoků

Koncentrace [%]	Průměrná viskozita [Pa.s]	Směrodatná odchylka [Pa.s]	Maximum [Pa.s]	Minimum [Pa.s]
9	0,170	0,008	0,183	0,163
10	0,271	0,002	0,275	0,265
11	0,421	0,012	0,439	0,404
12	0,640	0,019	0,672	0,620
13	0,879	0,016	0,901	0,851
14	1,301	0,013	1,319	1,276
15	1,919	0,019	1,904	1,880
16	2,752	0,018	2,783	2,721

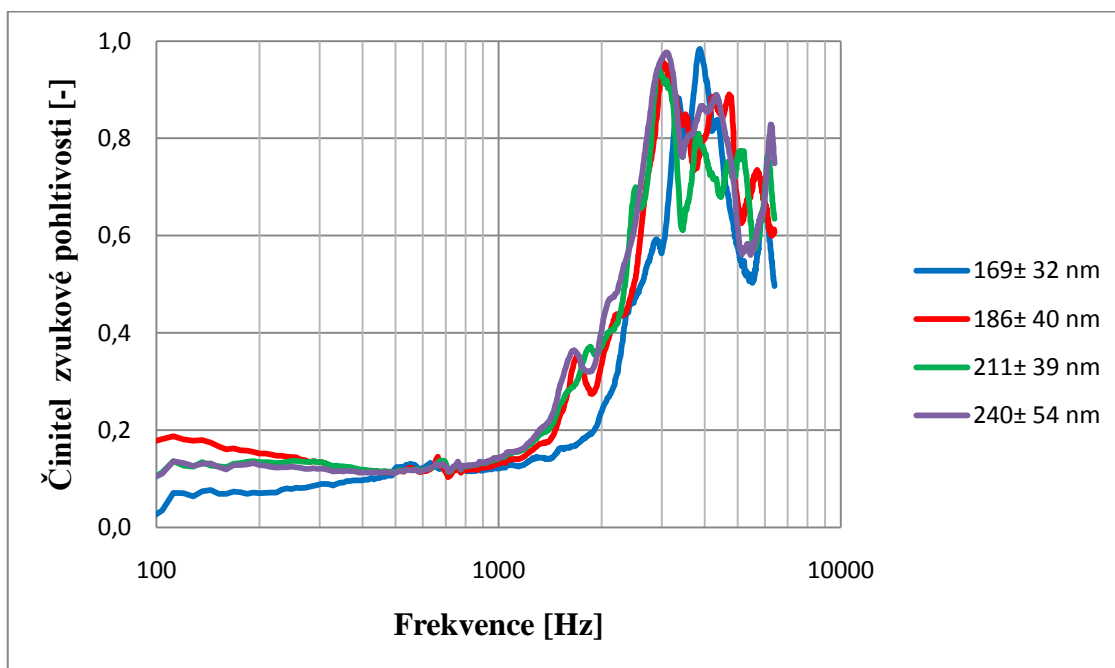
4. Naměřené plošné hmotnosti

Tab. 6 Jednotlivé naměřené plošné hmotnosti. V první části tabulky hodnoty využité při měření vlivu průměru vláken na činitel zvukové pohltivosti. V druhé části tabulky hodnoty využité při měření vlivu plošné hmotnosti na činitel zvukové pohltivosti.

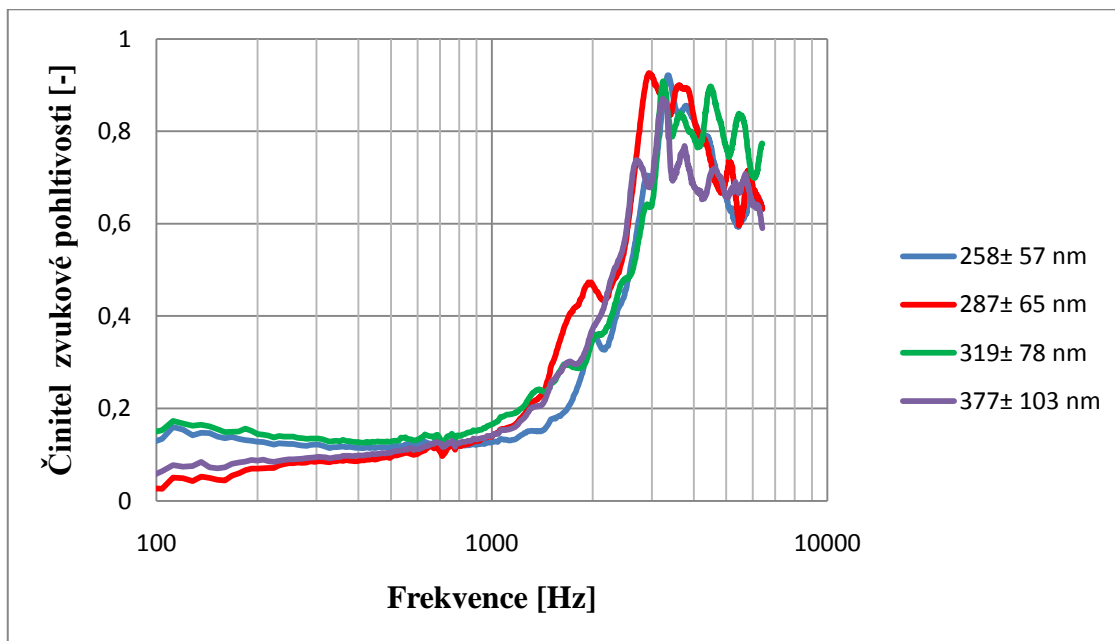
	Koncentrace [%]	Naměřené plošné hmotnosti [g/m ²]							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1.	9	17,36	18,07	17,93	16,88	17,53	16,73	17,9	17,42
	10	16,09	16,67	17,87	17,13	17,15	18,03	17,65	17,92
	11	16,88	17,09	18,12	16,79	16,82	17,98	17,43	16,68
	12	17,12	17,84	16,33	17,21	16,56	16,14	17,22	16,13
	13	15,86	16,64	16,98	17,23	16,68	17,25	17,46	17,48
	14	18,56	17,52	17,88	17,24	16,69	17,29	17,36	16,86
	15	17,56	15,55	17,23	16,89	16,75	17,44	16,38	17,51
2.	16	16,19	16,66	17,53	16,44	15,93	16,97	17,23	16,46
	10	26,03	25,48	25,66	26,17	26,51	25,16	25,73	26,52
	10	16,09	16,67	17,87	17,13	17,15	18,03	17,65	17,92
	10	14,28	15,12	14,04	12,84	13,96			

5. Vliv průměru nanovláken na činitel zvukové pohltivosti

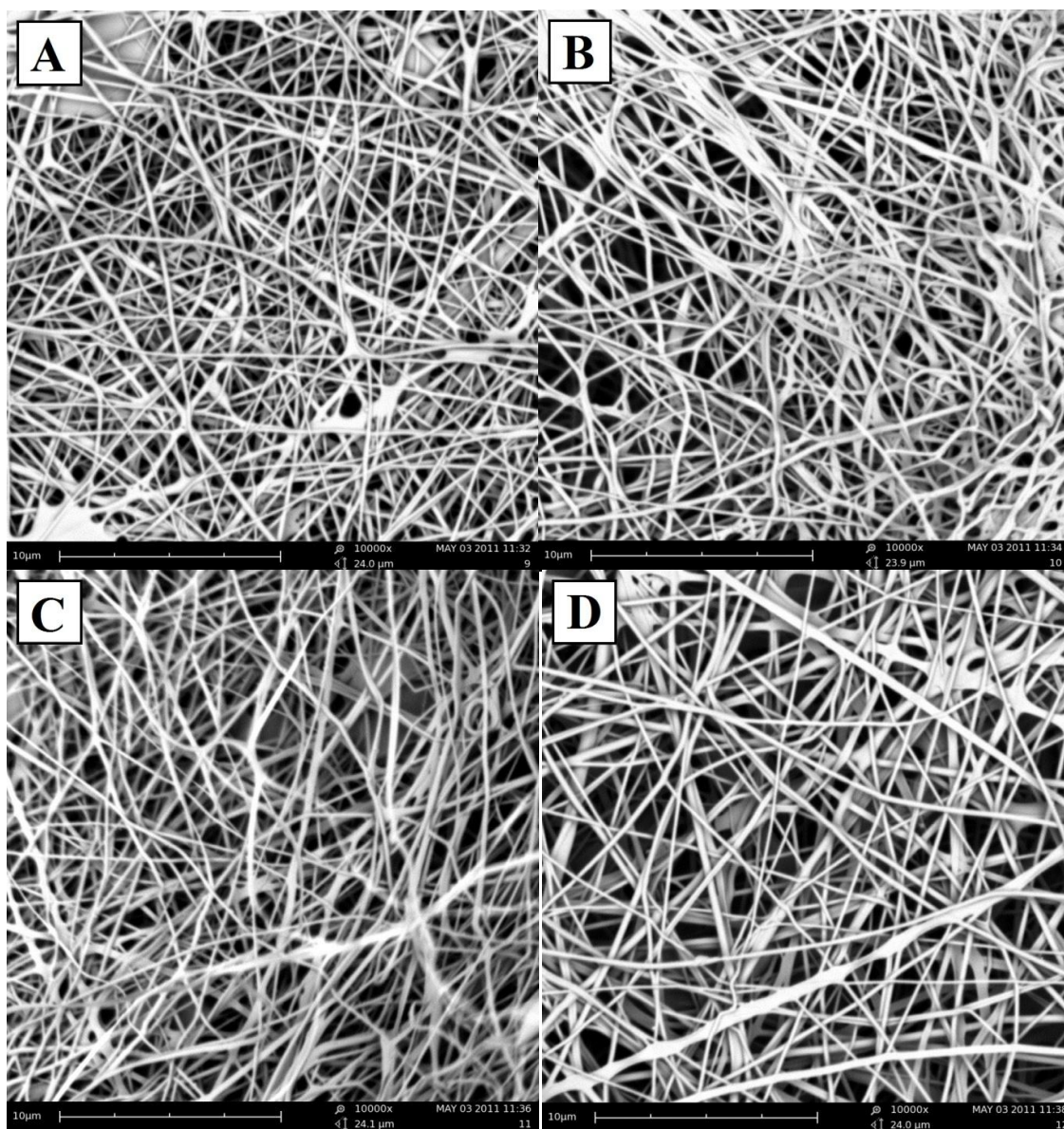
Graf 8. Vliv průměru nanovláken na činitel zvukové pohltivosti, pro průměry 169; 186; 211; 240 nm.



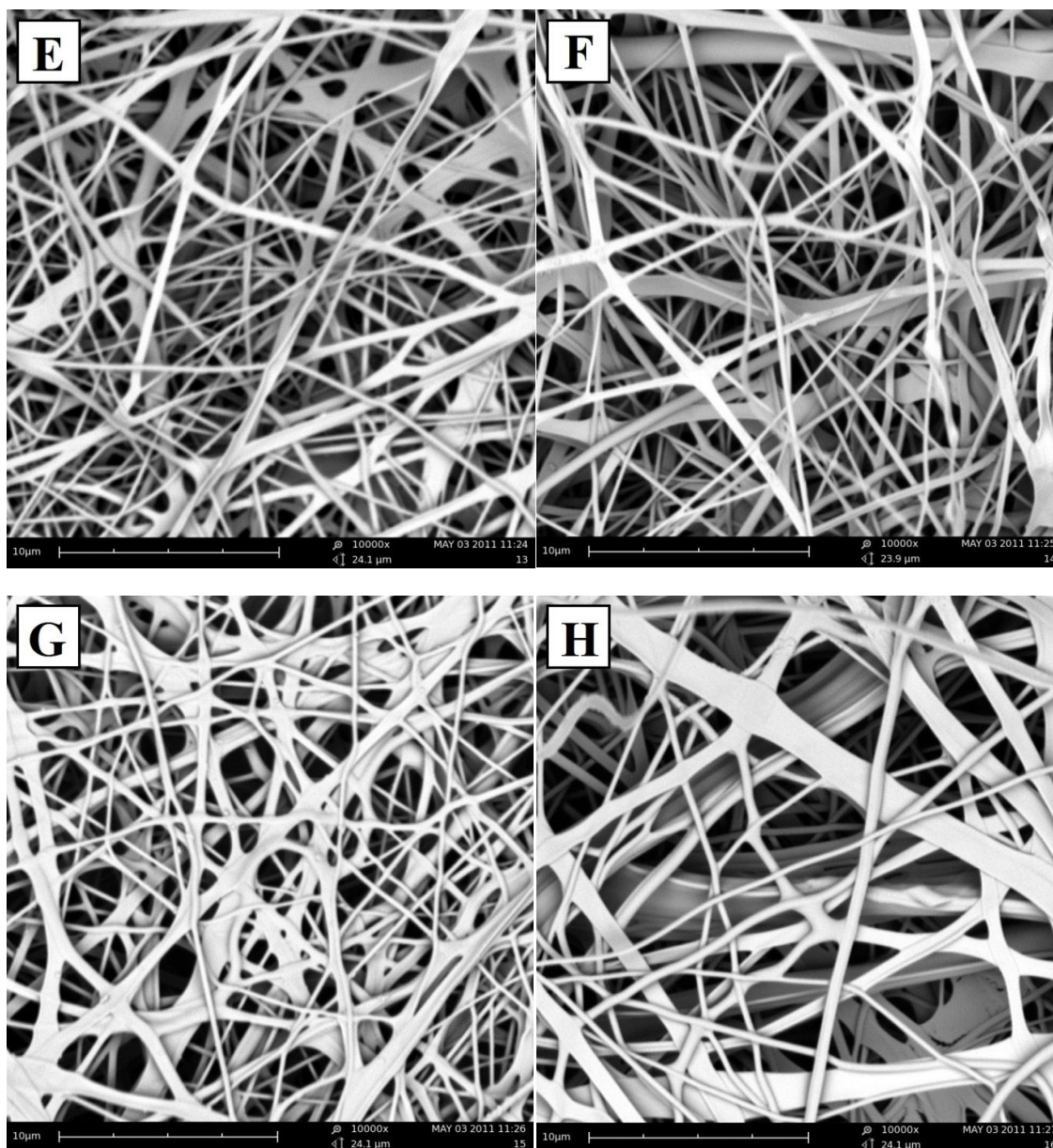
Graf 9. Vliv průměru nanovláken na činitel zvukové pohltivosti, pro průměry 258; 287; 319; 377 nm.



6. Vliv koncentrace na průměr vlákna



Obr. 20 Snímky z rastrovacího elektronového mikroskopu, struktura nanovláknenné vrstvy pro různé koncentrace při zvlákňování. Byly použity koncentrace 9 (A), 10 % (B), 11 % (C), 12 % (D). Zvětšení 10000x.



Obr. 21 Snímky z rastrovacího elektronového mikroskopu, struktura nanovláknenné vrstvy pro různé koncentrace při zvlákňování. Byly použity koncentrace 13 %(E), 14 %(F), 15 %(G), 16 % (H). Zvětšení 10000x.